



Studie zur Erschließung eines ländlichen Ortsteils mit ÖPNV-Angebot auf Basis von E-Mobilität und autonom fahrender Fahrzeuge sowie im Pendelverkehr

Projektbericht



Studie zur Erschließung eines ländlichen Ortsteils mit ÖPNV- Angebot auf Basis von E-Mobilität und autonom fahrender Fahrzeuge sowie im Pendelverkehr

Projektbericht

Im Auftrag der Stadt Unterschleißheim

März 2021

Gefördert im Rahmen des Förderprogramms „Elektromobilität vor Ort“
durch das Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur (BMVI)



Gefördert durch:



Bundesministerium
für Verkehr und
digitale Infrastruktur

Koordiniert durch:



Projektträger:



Bearbeiter: gevas humberg & partner
Marcus Gerstenberger, Dr.-Ing.
Erik Meder, Dipl.-Geogr.
Regina Winzinger, Dipl.-Geogr.
Eveline Taub, Dipl.-Geogr.

Lehrstuhl für Verkehrstechnik
Ulrich Glöckl, Dipl.-Ing.
Florian Dandl, Dipl.-Ing.
Christian Freimoser, B.Sc.

gevas humberg & partner
Ingenieurgesellschaft
für Verkehrsplanung und
Verkehrstechnik mbH
München - Karlsruhe
Grillparzerstraße 12a
81675 München

Telefon 089 489085-0
Telefax 089 489085-55
E-Mail muenchen@gevas-ingenieure.de
www.gevas-ingenieure.de

© gevas humberg & partner 2021

Inhaltsverzeichnis

1	Aufgabenstellung und Ausgangssituation	1
2	Voraussetzungen für den Einsatz autonomer Shuttle	2
2.1	Fahrzeugtypen	2
2.1.1	Easymile „EZ10“	2
2.1.2	Navya „Evo“	3
2.1.3	Local Motors „Olli“	5
2.1.4	2getthere „Parkshuttle“	5
2.1.5	IAV Shuttle	6
2.1.6	eGO Moove „eGO People Mover“	6
2.1.7	Übersicht vorhandener Fahrzeugtypen	8
2.2	Technische Voraussetzungen	10
2.2.1	Antrieb	10
2.2.2	Laden	10
2.2.3	Fahrzeugsensorik	11
2.2.4	Straßeninfrastruktur	15
2.2.5	Beispielanwendungen	18
2.2.6	Schlussfolgerungen zur fahrzeugseitigen und infrastrukturseitigen Situation	22
2.3	Rechtliche Rahmenbedingungen und Bedingungen zur Betriebszulassung	23
2.3.1	Überblick über die derzeitigen rechtlichen Randbedingungen	23
2.3.2	Haftungsfragen	26
2.3.3	Datenschutz und Datensicherheit	29
2.3.4	Personenbeförderungsrecht und Doppelbedienungsverbot	30
2.3.5	Zulassungsvoraussetzungen	31
3	Erschließungskonzept	33
3.1	Erschließungskonzept Business Campus	34
3.2	Erschließungskonzept Riedmoos	35
3.2.1	Routenvariante Nord	37

3.2.2	Routenvariante Süd	38
3.2.3	Vergleich Routenvarianten Riedmoos	38
3.2.4	Alternativroute Siedlung „Am Weiher“	39
3.2.5	Zusammenfassender Streckenvergleich	41
3.3	Detaillierte Routenuntersuchung	43
4	Analyse von Nutzergruppen und Potenzialabschätzung	49
4.1	Definition von Nutzergruppen und Nutzerbefragung	49
4.1.1	Haushaltsbefragung Siedlung „Am Weiher“	49
4.1.2	Unternehmensbefragung Business Campus Unterschleißheim	57
4.1.3	Mitarbeiterbefragung Business Campus Unterschleißheim	60
4.2	Potenzialanalyse	64
4.2.1	Potentialanalyse Siedlung „Am Weiher“	65
4.2.2	Potentialanalyse Business Campus	69
4.3	Akzeptanzanalyse	70
5	Betriebssimulation	73
5.1	Annahmen	73
5.2	Methodik	77
5.3	Ergebnisse	78
5.4	Diskussion der Simulationsergebnisse	82
6	Feststellung der Tauglichkeit eines Pilotprojektes	84
6.1	Experteninterviews	84
6.2	Identifizierung möglicher Betreiber / Kooperationspartner	86
6.3	Randbedingungen für die Durchführung eines Pilotprojektes	86
6.4	Kostenschätzung für den Einsatz von autonomen Shuttle in Unterschleißheim	88
7	Zusammenfassung und Fazit	92
7.1	Zusammenfassung	92
7.2	Fazit	94

Quellenverzeichnis	95
Anlagenverzeichnis	100

Abbildungen

Abbildung 1	Easymile EZ10 (zweite Generation) in Bad Birnbach	3
Abbildung 2	Navya Evo in Keitum auf der Insel Sylt	4
Abbildung 3	Überblick Sensorausstattung Shuttle	12
Abbildung 4	Erweiterung Sichtfeld durch Infrastruktursensorik	16
Abbildung 5	Beispiel Bad Birnbach	19
Abbildung 6	Beispiel Keitum (Sylt)	20
Abbildung 7	Easymile EZ10 auf der Greenwichpromenade in Berlin	21
Abbildung 8	HEAT Shuttle und Streckenverlauf mit zahlreichen Lichtsignalanlagen	22
Abbildung 9	Gebiete mit geplanter Anbindung durch einen autonomen Kleinbus	33
Abbildung 10	Route: S-Bahnhof Unterschleißheim West - Business Campus Unterschleißheim	34
Abbildung 11	Geplante Buslinie 299	36
Abbildung 12	Routenvarianten Riedmoos	36
Abbildung 13	Nordroute Riedmoos	37
Abbildung 14	Südroute Riedmoos	38
Abbildung 15	Vorhandene ÖPNV-Anbindung der Siedlung „Am Weiher“	40
Abbildung 16	Mögliche Haltestellen entlang der Route S-Bahnhof Unterschleißheim West – Siedlung „Am Weiher“	41
Abbildung 17	Routenführungen Siedlung „Am Weiher“ (grün) und zum Business Campus (blau)	43
Abbildung 18	Verteilung der Wege werktags auf die genutzten Verkehrsmittel	51
Abbildung 19	Verteilung der Wege samstags auf die genutzten Verkehrsmittel	52
Abbildung 20	Verteilung der Wege sonntags auf die genutzten Verkehrsmittel	53
Abbildung 21	Kenntnis autonomer Busse	54
Abbildung 22	Assoziationen mit autonomen Bussen	55
Abbildung 23	Aussagen der Haushalte zu autonomen Bussen	56
Abbildung 24	Voraussetzungen für Haushalte zur Nutzung des autonomen Busses	57

Abbildung 25	Unternehmensgrößen Business Campus	58
Abbildung 26	Bedeutung Erreichbarkeit Business Campus für Kunden	59
Abbildung 27	Aussagen der Unternehmen zu autonomen Bussen	59
Abbildung 28	Voraussetzungen für Unternehmen zur Nutzung des autonomen Busses	60
Abbildung 29	Kenntnis autonomer Busse (Mitarbeiterbefragung)	61
Abbildung 30	Assoziationen mit autonomen Bussen (Mitarbeiterbefragung)	62
Abbildung 31	Aussagen zu autonomen Bussen (Mitarbeiterbefragung)	63
Abbildung 32	Voraussetzungen für Mitarbeiter zur Nutzung autonomer Busse	64
Abbildung 33	Anzahl Personen werktags zwischen Siedlung „Am Weiher“ und S-Bahnhof Unterschleißheim	65
Abbildung 34	Anzahl Personen werktags Richtung S-Bahnhof je Verkehrsmittel	66
Abbildung 35	Anzahl Personen samstags zwischen Siedlung „Am Weiher“ und S-Bahnhof Unterschleißheim	67
Abbildung 36	Anzahl Personen sonntags zwischen Siedlung „Am Weiher“ und S-Bahnhof Unterschleißheim	68
Abbildung 37	Verkehrsmittelwahl für den Arbeitsweg zum Business Campus	69
Abbildung 38	Arbeitsbeginn und -ende der Mitarbeiter am Business Campus	70
Abbildung 39	Netzwerk der Betriebssimulation	73
Abbildung 40	Anzahl der bedienten (links) und nicht bedienten (rechts) Reiseanfragen an einem Wochentag	79
Abbildung 41	Mittlere tägliche Fahrleistung je Shuttle an einem Wochentag	80
Abbildung 42	Mittlerer Besetzungsgrad und Leerfahrt-Anteil an einem Wochentag	81
Abbildung 43	Zeitliche Entwicklung der Fahrzeugnutzung an einem Wochentag	82

Tabellen

Tabelle 1	Fahrzeugtypen-Übersicht	8
Tabelle 2	Kennwerte Strecke S-Bahnhof Unterschleißheim West – Business Campus Unterschleißheim	35
Tabelle 3	Streckenvergleich Nord- und Südroute Riedmoos	39
Tabelle 4	Streckenvergleich Riedmoos und Siedlung „Am Weiher“	42
Tabelle 5	Randbedingungen für den Einsatz autonomer Shuttles auf den vorgesehenen Routen in Unterschleißheim	45
Tabelle 6	Übersicht der Befragungsinhalte der Haushaltsbefragung	50
Tabelle 7	Annahmen zur modalen Verlagerung auf das E-Shuttle an der Haltestelle Knoten 1 (Am Weiher/Furtweg)	75
Tabelle 8	Annahmen zur modalen Verlagerung auf das E-Shuttle an der Haltestelle Knoten 2 (Ludwig-Thoma-Straße)	76
Tabelle 9	Annahmen zur modalen Verlagerung auf das E-Shuttle an den Haltestellen Knoten 3, 4, 5 (Business Campus)	76
Tabelle 10	Ansprechpartner Experteninterviews	84
Tabelle 11	Fahrplan Business Campus (Auszug)	89
Tabelle 12	Fahrplan Siedlung „Am Weiher“ (Auszug)	89
Tabelle 13	Betriebsleistung je Route	89
Tabelle 14	Kostenschätzung Jahreskosten Shuttles	90
Tabelle 15	Kostenschätzung für die Investition und den Betrieb der Shuttles im ersten Jahr	91

1 Aufgabenstellung und Ausgangssituation

Die Stadt Unterschleißheim beabsichtigt zur verkehrlichen Anbindung des Ortsteils Riedmoos an das Kerngebiet Unterschleißheims die Verwendung von autonom fahrenden Elektro-Fahrzeugen im Rahmen eines Pilotprojektes umzusetzen. Weiterhin wird innerhalb des Pilotprojektes angestrebt, einen Pendelverkehr zwischen der S-Bahn-Haltestelle Unterschleißheim und dem Industrie- und Gewerbestandort Business Campus einzurichten. Hierbei sollen vor allem durch den Einsatz lokal emissionsfreier Antriebstechnologien und innovativer Fahrzeugkonzepte (selbstfahrende Elektro-Fahrzeuge) eine klima- und landschaftsschonende Möglichkeit geschaffen werden, einen ökologisch sensiblen Bereich (Landschaftsschutzgebiet) bedarfsgerecht anzubinden und zugleich Kosteneinsparungen im Betrieb zu ermöglichen.

In einer vorgeschalteten Machbarkeitsstudie sollen

- Erfahrungen und Erkenntnisse aus vorhandenen Best-Practice-Projekten gesichtet,
- funktionale, technische und organisatorische Randbedingungen zusammengestellt,
- ein Erschließungs- und Betriebskonzept erarbeitet,
- potenzielle Nutzergruppen identifiziert,
- die Akzeptanz eines derartigen Angebotes analysiert sowie
- mögliche Projektpartner und Betreiber identifiziert werden.

Unter Berücksichtigung dieser Informationen soll eine Einschätzung gegeben werden, unter welchen Randbedingungen die Durchführung des Pilotprojektes ermöglicht werden kann.

2 Voraussetzungen für den Einsatz autonomer Shuttle

Zum Einsatz von autonomen Shuttles im öffentlichen Straßenverkehr ist eine Vielzahl von Randbedingungen zu berücksichtigen. In den folgenden Abschnitten werden die verfügbaren Fahrzeuge (Kapitel 2.1), die technischen Voraussetzungen (Kapitel 2.2) und die rechtlichen Rahmenbedingungen (Kapitel 2.3) zusammengefasst.

2.1 Fahrzeugtypen

Obwohl autonomes Fahren großes Potential besitzt, die Mobilität von morgen zu verändern und dadurch auch wirtschaftliche Erfolge für Hersteller solcher Fahrzeuge winken, nimmt die Anzahl von Herstellern solcher Minibusse kaum zu. Kraftfahrzeuge zur Personenbeförderung mit mindestens vier Rädern werden in drei verschiedenen Klassen klassifiziert. Klasse M1-Fahrzeuge dienen zur Personenbeförderung mit höchstens acht Sitzplätzen außer dem Fahrersitz, Klasse M2-Fahrzeuge sind zur Personenbeförderung mit mehr als acht Sitzplätzen außer dem Fahrersitz und einer zulässigen Gesamtmasse bis zu 5 t gedacht und Klasse M3-Fahrzeuge sind wie M2-Fahrzeuge, nur mit einer Gesamtmasse von über 5 t. [EUROPÄISCHES PARLAMENT, 2007] Minibusse und Shuttles, die im Folgenden vorgestellt werden, sind somit primär Fahrzeugtypen aus Klasse M1, je nachdem, wie viele Personen tatsächlich bewegt werden.

2.1.1 Easymile „EZ10“

Easymile wurde 2014 in Frankreich gegründet mit Büros in Toulouse und Singapur. Im selben Jahr kam der erste Prototyp des EZ10 auf den Markt, welcher vom französischen Autohersteller Ligier gebaut wurde, die Software stammt von Robosoft. Ein Jahr später erfolgte bereits eine öffentliche Vorführung der Technologie, heute sind namhafte Unternehmen wie Alstom, Continental, TLD und IVECO Partner des Unternehmens. Mitte 2019 kam eine überarbeitete Version des EZ10 auf den Markt. Mittlerweile gibt es neben dem klassischen Shuttle für Passagiere im ÖPNV auch weitere Dienstleistungen, die das Unternehmen anbietet, darunter eine autonome Zugmaschine „TractEasy“ für den Gepäcktransport am Flughafen und ein Flottenmanagementsystem „EZFleet“. Mittlerweile gibt es den EZ10 in der 3. Generation. [EASYMILE, 2020a] Der Fokus für vorliegende Anwendung in Unterschleißheim liegt allerdings auf dem klassischen EZ10. Dieser Minibus fasst bis zu 15 Personen und fährt maximal 25 km/h, möglich wären allerdings 45 Stundenkilometer. Die Batterie hält je nach Witterung und Fahrgeschwindigkeit 16 Stunden, das volle Aufladen benötigt rund 6 Stunden. Optionale technische Ausstattungen sind beispielsweise ein Modul zur Infrastrukturkommunikation (V2X) oder Sensoren zum Zählen der Passagiere, was wichtig für das Flottenmanagement ist. Darüber

hinaus kann der Bus drei Betriebsmodi bedienen. Er fährt entweder auf einer vorgegebenen Route und bleibt an jeder Haltestelle stehen, er bedient ein bestimmtes Gebiet (Netzwerk) ohne fixe Haltestellen oder er wird als On-Demand-Bus eingesetzt. [EASYPHILE, 2020b] Laut Hersteller ist der „EZ10“ der am weitesten entwickelte autonome Minibus weltweit.



Abbildung 1 **Easymile EZ10 (zweite Generation) in Bad Birnbach**
(Foto: TUM-VT)

2.1.2 Navya „Evo“

Neben Easymile ist Navya ein weiteres französisches Unternehmen, das Weltmarktführer im Bereich autonomer Shuttles ist. Der Minibus „Evo“ fährt autonom und vollständig elektrisch und wird wie der „EZ10“ als On-Demand-Fahrzeug eingesetzt. Partner des Unternehmens sind unter anderem Valeo, Keolis, Axa und Esmo. In mittlerweile 22 Ländern fahren die Busse unter verschiedensten Bedingungen, von Industrieanlagen, Krankenhäusern, Stadtzentren oder touristische Attraktionen. Um eine sichere und intelligente Fortbewegung zu garantieren, sind zahlreiche Sensoren im Fahrzeug verbaut. So sorgen zehn Lidarsensoren für eine optimale Umfelderkennung und erkennen Hindernisse auf der Straße. Eine GNSS-Antenne stellt die Lokalisierung des Fahrzeugs sicher und das V2X Modul kommuniziert mit der umgebenen Infrastruktur. Um eine autonome Fahrt durchführen zu können, durchläuft der Bus auf einer neuen Strecke folgende Schritte. Als erstes wird die zu fahrende Route

digital erfasst (Mapping) und anschließend virtuell abgefahren (Simulation). Die Umfelderkennung im Realbetrieb wird durch die bereits angesprochenen Sensoren durchgeführt und dadurch Hindernisse erkannt, die Lokalisierung ist in Echtzeit und gibt die Position, die Fahrtrichtung und die Geschwindigkeit aus (Perception). Basierend auf diesen Daten wird die optimale Fahrtrasse ermittelt (Decision) und schlussendlich der Shuttle bewegt (Action). Das hier beschriebene Vorgehen kommt in gleicher Weise auch beim Fahrzeug von Easymile (siehe Kapitel 2.1.1) zur Anwendung.

Im „Evo“ haben bis zu 15 Personen Platz und er kann maximal 900 kg bewegen. Die Höchstgeschwindigkeit ist bei 25 km/h und die Batterie kann je nach Ladestation zwischen 6-12 Stunden komplett geladen werden, danach kann das Fahrzeug bis zu neun Stunden betrieben werden. Als zusätzliche Ausstattungen kann neben digitalen Monitoren zur Informationsanzeige oder einem Heiz- und Kühlsystem beispielsweise eine automatische Rampe für Rollstuhlfahrer eingebaut werden. Insgesamt ist der „Evo“ wie die Konkurrenz von Easymile einer der am weitesten entwickelte Shuttle weltweit. [NAVYA, 2020]



Abbildung 2 Navya Evo in Keitum auf der Insel Sylt
(Foto: TUM-VT)

Bei den beiden Herstellern EasyMile und Navya handelt es sich um zwei französische Unternehmen, die mit 34 bzw. 31 Versuchen weltweit die mit Abstand meisten öffentlichen Demonstrationen haben bzw. hatten. Insgesamt ist Europa mit 80 Pilotversuchen weltweit Spitzenreiter, in Amerika gab es

nur sechs und in Asien fünf offizielle Tests. Dennoch gewinnt ein amerikanisches Unternehmen an Bedeutung, nämlich Local Motors. [ANTONIALLI, 2019].

2.1.3 Local Motors „Olli“

Das Besondere an diesem Minibus ist, dass er aus dem 3D-Drucker kommt. Das Unternehmen nennt diese Art der Produktion digitale Fahrzeugproduktion (Digital Vehicle Manufacturing), wodurch die Shuttles schneller und kostengünstiger produziert werden können. Das Grundgerüst bzw. 80 % des gesamten Fahrzeugs werden in nur neun Stunden aus recyceltem Material gedruckt, was bis zu 90 % weniger Einzelteile bedeutet. Alle zusätzlichen Teile lassen sich modular zusammenstecken, was eine effiziente Produktion gewährleistet. Die Software kommt von IBM Watson, mit deren Hilfe die künstliche Intelligenz im Fahrzeug mit den Passagieren sprechen und Informationen über die Fahrt anzeigen kann. Auch bei „Olli“ kommen gängige Sensoren wie Radar, Lidar und Kamera zum Einsatz, deren Daten Watson analysiert und auswertet [LOCAL MOTORS, 2020a] Bekannte Partner von Local Motors sind beispielsweise Robotic Research und Goodyear. [LOCAL MOTORS, 2020b] „Olli“ wurde im Jahr 2017 in Berlin am EUREF Campus getestet und transportierte während der Testphase rund 2000 Personen. [SCHULZE ET AL., 2017]

Darüber hinaus gibt es drei weitere europäische Fahrzeughersteller, die in Zukunft großes Potential haben, nämlich 2getthere aus den Niederlanden sowie IAV und e.GO Moove aus Deutschland.

2.1.4 2getthere „Parkshuttle“

Das niederländische Unternehmen mit Sitz in Utrecht hat bereits mehrere Pilotversuche in Rotterdam und Masdar, Abu Dhabi, durchgeführt, allerdings auf abgesperrten Strecken und nicht im Mischverkehr mit anderen Verkehrsteilnehmern [ANTONIALLI, 2019]. Seit Anfang 2019 hat der deutsche Automobilzulieferer ZF Friedrichshafen mit 60 % die Mehrheit an dem Unternehmen erworben. Der Zusammenschluss soll beiden Unternehmen Synergieeffekte bringen, wie es in einem Pressestatement heißt. So kann ZF Sensoren und Fahrzeugbausteine liefern, 2getthere bringt eine 30-jährige Erfahrung im Bereich Software- und Engineering-Kompetenz mit. [ZF FRIEDRICHSHAFEN, 2019]. Das Unternehmen bietet zwei verschiedene Fahrzeugtypen an, zum einen den PRT (Personal Rapid Transit, automatisiertes Taxi), zum anderen den GRT (Group Rapid Transit, Minibus). Ersteres fasst bis zu sechs Personen und vereint die Aspekte eines privaten Fahrzeugs (Nutzbarkeit jederzeit gegeben) und des ÖPNV (keine Parkplatzsuche), der Minibus hingegen fasst bis zu 22 Personen und bietet Platz für einen Rollstuhlfahrer. 2getthere war außerdem nach eigenen Angaben das erste Unternehmen, das 2003 einen autonomen Shuttle im Mischverkehr testete und nicht nur auf

abgesperrten Straßenabschnitten. Die Navigation basiert auf virtuellen Routen, basierend auf der Lokalisierung durch Odometrie mit Verbindung von künstlichen Landmarken wie Magnete im Straßenboden, die dem Fahrzeug die Fahrbahn weisen. Die Hardwarekomponenten zur Umfelderkennung bestehen aus 3D Kamerasystemen, Lidar-, Radar- und Ultraschallsensoren. [2GETTHERE, 2018b]

2.1.5 IAV Shuttle

IAV forscht seit gut 25 Jahren an Technologien für das automatisierte Fahren und ist eines der wenigen deutschen Unternehmen, das einen autonomen Shuttle für den öffentlichen Nahverkehr baut [IAV, 2020]. Einpark- bzw. Anfahrassistenten an die Haltestelle sowie radargestützte Spurwechselassistenten sind ebenso verbaut wie andere Sensorik. Für die Positionsbestimmung ist eine Genauigkeit von unter 15 cm notwendig, was jedoch mit GPS allein oft nicht erreicht werden kann. Aufgrund dessen wird zur Routenplanung eine hochauflösende Karte aufgezeichnet und die Position bestimmter Landmarken, wie Schilder und Randstreifen, erfasst. Aktuell ist das Fahrzeug bei Pilotversuchen mit 20 km/h unterwegs, in Zukunft sollen die innerorts üblichen 50 km/h gefahren werden. Partner des Unternehmens sind unter anderem Siemens, IKEM oder Schaeffler Paravan Technologies (SPT), Weltmarktführer im Bereich behindertengerechter Fahrzeuglösungen. [IAV, 2019b]

2.1.6 eGO Moove „eGO People Mover“

Das Unternehmen wurde 2018 in Aachen gegründet. Der Schwerpunkt liegt in der Entwicklung von elektrisch angetriebenen Kleinbussen. Erste Prototypen wurden bereits gefertigt, die Serienproduktion mit bis zu 15.000 Fahrzeugen pro Jahr startete dieses Jahr. Der „eGO People Mover“ ist ein universell ausbau- und einsetzbarer Bus, der bis zu 15 Personen transportieren kann. Der Bus ist im On-Demand-Betrieb einsetzbar und hat eine Betriebszeit von bis zu 10 Stunden innerorts. Das Fahrzeug besitzt im Gegensatz zu den Mitbewerbern einen fest eingebauten Fahrersitz samt Lenkrad, allerdings ist er für einen hochautomatisierten Betrieb nach SAE Level 4 ausgerüstet und könnte, sofern es die Technologie zulässt, auch ohne Fahrer fahren. Der Einstieg ist barrierefrei und der Innenraum lässt sich je nach Kundenwunsch individuell ausbauen und ergänzen. Ebenso wie bei 2getthere ist auch bei diesem Unternehmen ZF Friedrichshafen beteiligt und liefert die elektrische Antriebslösung sowie Fahrwerks- und Systemkomponenten. Um die Reichweite zu erhöhen, kann in den Bus ein Brennstoffzellensystem eingebaut werden, was kurze Betankungszeiten und somit eine hohe Verfügbarkeit für den ÖPNV-Betrieb bedeutet. Neben dem Fahrzeug zur Personenbeförderung baut das Unternehmen seit Ende 2019 Güterfahrzeuge. Der Mutterkonzern

eGO Mobile GmbH befindet sich aufgrund vielfältiger Herausforderung in einem Insolvenzverfahren, allerdings wird dem Unternehmen weiterhin große Hoffnung auf Wachstum gegeben. [E.GO MOOVE, 2019] Der Shuttle sollte bei dem Pilotversuch EASYRIDE im Münchner Olympiapark eingesetzt werden. [MVG, 2020]

Weitere Hersteller, die jedoch noch nicht weit verbreitet bzw. in Europe bekannt sind, sind beispielsweise Induct, Innova EV, AuroRobotics, May Mobility, Fisker, Hino Motors, Yutong oder HMI. [BER-SCHET ET AL., 2017] [ANTONIALI, 2019] Außerdem bietet das chinesische Unternehmen Apollo Baidu Shuttles zum Kauf an. [ICLODEAN ET AL., 2020]

2.1.7 Übersicht vorhandener Fahrzeugtypen

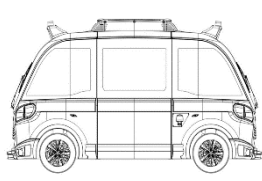
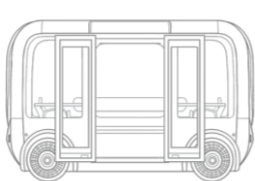
			
			
Modell	EZ10	Evo (vormals Arma)	Olli
Webseite Hersteller	Easymile.com	navya.tech	localmotors.com/meet-olli
Passagier Kapazität	bis zu 15	bis zu 15 (11+4)	bis zu 8
Zugang für Mobilitäts-eingeschränkte	Automatisch ausfahrbare Rampe	Manuell ausfahrbare Rampe	
Betriebsmodi	on-demand oder planmäßig (Route, Netzwerk)		on-demand
Fahrzeuggewicht	2130 kg	2600 kg	2654 kg
Abmessungen (LxBxH) in mm	4050x1892x2871	4780x2100x2670	3920x2050x2500
Min. Wenderadius	5 m	4,5 m	
Versorgung/Motor	elektrisch	elektrisch	elektrisch
Batterietyp	LiFePO4	LiFePO4	Lithium
Batteriekapazität	30,72 kWh	33 kWh	18,8 kWh
Ladezeit (Stunden)	6 h	6 h (230 V AC plug, 16 A) 12 h (230 V AC plug, 32 A)	1,5 h (440 V)
Reichweite	Bis zu 16h	8-12 h	40-60 km
Max. Geschwindigkeit	45 km/h, abgeriegelt bei 25 km/h	40 km/h	40 km/h
Sensorik	Lidar (Lokalisierung und Objekterkennung), Kamera, IMU, Raddrehzahlsensor, GPS	10x Lidar, Kameras, Radar, GNSS-RTK, IMU, Raddrehzahlsensor	Optische Kamera, Lidar, Radar, Ultraschall, IMU
Sonstiges	Optionaler Einbau von V2X Modul, Passagierzähler und Kontaktloses Laden, SLAM Lokalisierung (vordefinierte und abgebildete Strecke), bis zu 15 % Fahrbahnneigung; Witterung: Regen, Schnee, Nebel; -15°C bis 45°C	Heizung, Klimaanlage, Notfallknopf; Satelliten-Lokalisierung, bis zu 18 % Fahrbahnsteigung; Witterung: -10°C bis 45°C	Fahrzeug aus 3D-Druck; 4GLTE GSM Kommunikation
Quelle	[EASYMILE, 2020b]	[NAVYA, 2020]	[LOCAL MOTORS, 2020a]

Tabelle 1 Fahrzeugtypen-Übersicht

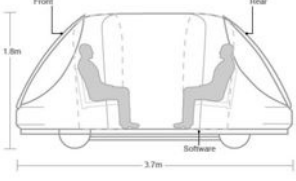
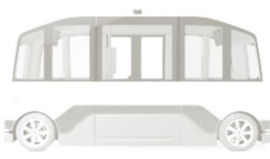
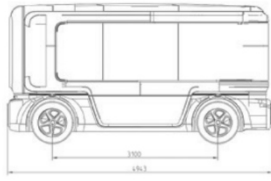
			
			
Modell	Parkshuttle	Shuttle	eGO People Mover
Webseite Hersteller	2getthere.eu	iav.com	e-go-moove.com
Passagier Kapazität	PRT bis zu 6 (4+2); GRT bis zu 22 (8+14)	bis zu 10	bis zu 15 (10+5)
Zugang für Mobilitäts- eingeschränkte		Ausfahrbare Rampe	Niederflurbus
Betriebsmodi		Fixe Route	on-demand
Fahrzeuggewicht	PRT: 1400 kg; GRT: 4500 kg	2880 kg	2100 kg
Abmessungen (LxBxH) in mm	PRT: 3920x1416x2010 GRT: 6044x2104x2784	5100x2050x2710	4943x2016x2550
Min. Wenderadius	11/16 m		13,6 m
Versorgung/Motor	elektrisch	elektrisch	elektrisch, Brennstoffzelle
Batterietyp	PRT: LiFePO4 GRT: Li-ion nano NMC		Li-Ion
Batteriekapazität	PRT: 20 kWh GRT: 2x 18.4 kWh		Bis zu 60 kWh
Ladezeit (Stunden)	PRT: 2 Stunden von 30 auf 80 %; GRT: 11 Minuten von 30 auf 80 % bei 400V		ca. 4,5 h
Reichweite	PRT: 75 km; GRT: 50 km		Bis zu 10 h
Max. Geschwindigkeit	PRT: 40 km/h; GRT: 60 km/h	25-50 km/h	Bis zu 60 km/h
Sensorik	Odometrie, 3D-Kamera, Lidar, Radar, Ultraschall	Kamera, Radar, Lidar und Infrastruktursensorik	Kamera, Radar, Lidar
Sonstiges	hohe Kapazität, Erkennung von Objekten ab 7cm in einer Entfernung von 40-100 Metern; 10% Fahrbahnsteigung, Nutzung von magnetischen Leitlinien im Asphalt	Kommunikation mit infrastrukturseitiger Sensorik; SAE Level 4	Einbau Brennstoffzelle zur Reichweiten-erweiterung; Automatisierung möglich bis SAE- Level 4
Quelle	[2GETTHERE, 2018a]	[IAV, 2019a]	[E.GO MOOVE, 2019]

Tabelle 1 Fahrzeugtypen-Übersicht (Fortsetzung)

2.2 Technische Voraussetzungen

Um autonomes Fahren zu ermöglichen, müssen menschliche Fähigkeiten durch technische Hard- und Softwarelösungen ersetzt werden. So muss das Sehen und Hören beispielsweise durch Sensoren und Kommunikationstechnologien nachgebildet, die Entscheidungsfindung durch Algorithmen ersetzt oder Lenkbewegungen durch eine intelligente Steuerung der Aktorik kompensiert werden. Insgesamt müssen die drei Schritte Sehen, Verarbeiten und Ausführen neu gedacht werden. [BECHER ET AL., 2015]

2.2.1 Antrieb

Neuartige Shuttles für den ÖPNV werden alle mit einem Elektromotor angetrieben, um nachhaltiger und effizienter als konventionelle Busse unterwegs zu sein. Dessen Versorgung durch die Batterien wird durch das Batterie-Management-System (BMS) geregelt. Mit Hilfe dieses Systems kann auch Energie, die bei einem Bremsvorgang entsteht, der Batterie wieder zugeführt werden, wodurch eine teilweise Aufladung (Rekuperation) stattfindet. Die Hochvoltbatterien im Fahrzeug haben meist eine Spannung von 2,2-3,7 Volt und sind entweder parallel oder in Reihe geschaltet, um so im Zusammenschluss 280-390 Volt bzw. eine Kapazität von 20-35 kWh zu erreichen. Die Batterie wird durchgehend vom BMS überwacht und der Ladestatus (state of charge, SOC) sowie der Batteriezustand (battery state of health, SOH) überprüft. [ICLODEAN ET AL., 2020]

2.2.2 Laden

Die durchschnittliche (Gesamt-) Ladezeit beträgt zwischen 8-10 Stunden. Aufgrund der begrenzten Reichweite und je nach Art des Betriebs (Fahrzeuggröße, Besetzungsgrad, Beförderungsgeschwindigkeit, Routenlänge, Anzahl Haltestellen usw.) bedarf es einer intelligenten Ladeinfrastruktur sowie einer dazugehörigen Ladestrategie samt Ladesystem. Die Ladestrategie lässt sich primär in drei Konzepte einteilen: [KNOTE ET AL., 2017, S. 5ff.]

- Das erste Nachladetaktik besteht darin, dass das Fahrzeug über Nacht an einem festen Ort wie z.B. dem Betriebshof vollständig aufgeladen wird und somit während des Tageseinsatzes keine Zwischenaufladungen mehr nötig sind. Hierzu benötigt man wenig Ladeinfrastruktur und eine batterieschonende langsame Aufladung sowie ein flexibler Einsatz tagsüber sind möglich. Allerdings sind die heutigen Batterien nicht effizient genug, um diese Art von Betrieb praxistauglich zu ermöglichen.
- Lademethode zwei konzentriert sich ebenfalls auf das Aufladen über Nacht, allerdings wird hier das Fahrzeug zusätzlich gelegentlich in Fahrpausen an Endhaltestellen geladen. Hier

können kleinere Batterien im Shuttle verbaut werden, da öfter geladen werden kann. Außerdem ist ein flexibler Betrieb möglich, da nur bestimmte Punkte angefahren werden müssen. Nachteilig sind allerdings die höheren Kosten zur Errichtung und auf Verspätungen kann unzureichend flexibel reagiert werden, da gewisse Ladezeiten benötigt werden.

- Die dritte Ladestrategie basiert auf Nummer zwei, jedoch wird hier zusätzlich an Unterwegshaltestellen eine Aufladung während des Fahrgastwechsels durchgeführt. Hierzu ist jedoch zusätzlich ein weiterer kostspieliger Ausbau der Ladeinfrastruktur notwendig und der Betrieb in gewisser Zeit eingeschränkt, da bestimmte Ladepunkte angefahren werden müssen.

2.2.3 Fahrzeugsensorik

Die Sensorik im Fahrzeug ist ein elementarer Baustein im Prozess des autonomen Fahrens, die sich je nach Funktion in unterschiedliche Bereiche einteilen lässt. So gibt es Sensoren zur Fahrzustandserkennung, zur Stellerzustandserkennung (Abbild der vorgesehenen Aktionen des Fahrzeugs) sowie zur Umfelderkennung. [ERSON & GIES, 2017] Sensoren werden eingesetzt, um auf unvorhergesehene Ereignisse im Fahrablauf reagieren zu können und ersetzen die menschlichen Fähigkeiten bei der Erfassung der Fahrzeugumgebung. [ICLODEAN ET AL., 2020]

Folgende Abbildung gibt einen Überblick über die Sensorausstattung am Fahrzeug, die im Folgenden kurz vorgestellt wird. Es ist anzumerken, dass je nach Quelle unterschiedliche technische Daten zu den Sensoren veröffentlicht werden und auch je nach Hersteller variieren. Die Abkürzungen bedeuten:

- GNSS: Globales Navigationssatellitensystem
- FC / RC: Front- und Rückwärts-Kamera
- IMU: Inertiale Messeinheit

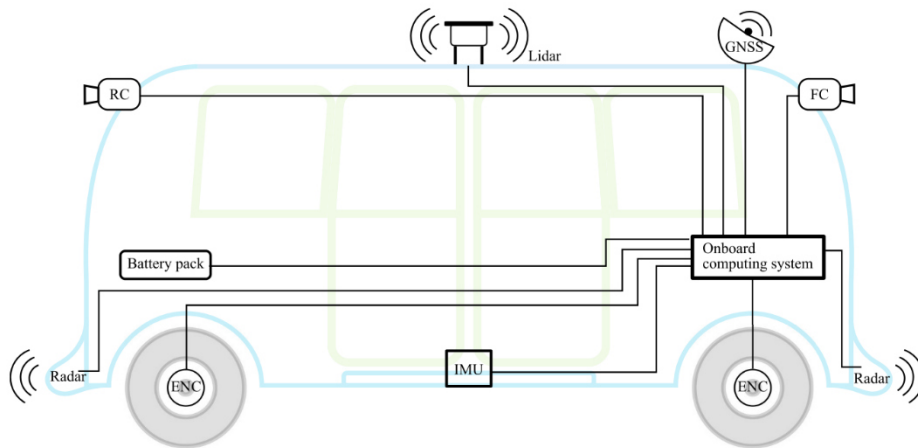


Abbildung 3 Überblick Sensorausstattung Shuttle
[AINSALU ET AL., 2018, S. 16]

Lidar

Lidar (Light Detection and Ranging) sendet Lichtimpulse aus, welche von Objekten und Hindernissen reflektiert werden. Mit Hilfe des Lichtlaufzeitverfahrens des Laserlichts kann die Distanz zwischen Sensor und Objekt bestimmt werden, da die Zeitdifferenz und dadurch die zurückgelegte Strecke zwischen Emission und Detektion bei bekannter Lichtgeschwindigkeit berechnet werden kann. [BECHER ET AL., 2015] Der Blickwinkel dieses 3D Sensors ist 360 ° groß und wird deshalb oftmals auf dem Dach des Fahrzeugs installiert, um die bestmögliche Abdeckung zu erreichen. Die Abdeckung von 360 ° kommt zustande, weil der Spiegel des Sensors um sich rotiert. Die räumliche Auflösung des Sensors ist höher als beim Radar, da die Strahlen in mehreren Schichten bzw. Layern in vertikaler Richtung ausgesendet werden, außerdem ist die Dichte der Laserpunkte je Layer sehr groß. Die reflektierten Strahlen bilden eine Punktwolke, wodurch eine Klassifizierung erst möglich ist. Dadurch können auch Fußgänger und andere Hindernisse genau erkannt werden. [KOCIC ET AL., 2018] Moderne Flash-Lidare mit Photodioden oder kleinen Arrays als Detektor haben eine Reichweite von 150 m und eine Tiefengenauigkeit von 4 cm. Grenzen des Sensors sind neben den angesprochenen hohen Kosten das Problem, dass es im Abdeckungsbereich meist Blind-Spots gibt, weshalb zusätzlich andere Sensoren verwendet werden müssen. [REEB & HÄRTER, 2020]

Radar

Radar (Radio Detection and Ranging) wird für Adaptive Cruise Control (ACC), Kollisions- und Toter-Winkel-Warner eingesetzt. Der Sensor strahlt elektromagnetische Wellen aus und empfängt die zurückreflektierte Sekundärstrahlung. Mit Hilfe der Phasenverschiebung beim Doppler-Effekt kann

die relative Bewegung von Objekten zueinander bestimmt werden. Die Auflösung ist zwar geringer als beim Lidar, allerdings ist die Reichweite mit über 200 m deutlich größer. Vor allem bei schlechten Witterungsereignissen funktioniert der Sensor ungenauer, allerdings ist er weniger anfällig als ein Kamerasystem oder ein Lidar. Mit einem Abstrahlwinkel von bis zu 150 ° und der großen Reichweite ist der Sensor unerlässlich für das autonome Fahren. [KOCIC ET AL., 2018] Radar- und Lidar- bzw. Laser-Sensoren werden auch zur Detektion von Querverkehr an Kreuzungen verwendet [Darms et al., 2008].

Kamera

Kameras sind passive Sensoren und verwenden meistens halbleiterbasierte Bildsensoren, die Licht in digitale Bildsignale umwandeln. Außerdem können sie große Kontraste verarbeiten und arbeiten im Wellenbereich des sichtbaren Lichts. Der Öffnungswinkel von Stereo-Vision-Kameras liegt üblicherweise bei 450 ° und hat eine Reichweite von 60 m. Typische Anwendungsbeispiele sind die Übernahme der Längs- und Quersteuerung in Form von Stau- oder Auffahr- sowie Spurhalteassistenten. Mono-Vision-Systeme haben je nach Einsatzzweck eine Reichweite von mehreren hundert Metern und werden als Einparkhilfe oder zur Schildererkennung eingesetzt. Die großen Vorteile sind die geringen Kosten sowie die Möglichkeit zur Objektzuordnung. Nachteile sind die eingeschränkte Einsetzbarkeit bei schlechten Witterungsbedingungen und die Notwendigkeit von Helligkeit zu Identifizierung. [BECHER ET AL., 2015]

Ultraschall

Diese Art von Sensor basiert auf der Sonar- oder Klangnavigation und dient dem System als Einparkhilfe oder Erkennung von Objekten im Nahbereich. Bei der Objekterkennung werden Ultraschallimpulse vom Sender ausgestrahlt, die von Objekten im Umfeld zurückgeworfen werden. Die reflektierten Strahlen werden ausgewertet und die Entfernung wird mittels Signallaufzeit bestimmt. Ultraschall sieht durch Objekte hindurch und hat eine hohe Zuverlässigkeit bei schlechten Witterungsbedingungen, außerdem ist der Sensor preislich am günstigsten. Bei der Erkennung von schnell beweglichen Objekten stößt er genauso wie bei der Erkennung von Farben an seine Grenzen. [GRAYNED, 2014] Die Reichweite des Sensors ist mit 5 m äußerst gering und wird deshalb nur zur Detektion im Nahbereich eingesetzt. [BECHER ET AL., 2015]

IMU

Die inertielle Messeinheit (inertial measurement unit, IMU) ist eine Kombination mehrerer Inertial- bzw. Lagesensoren. Wenn sich ein Fahrzeug bewegt, treten Kräfte sowie Linear- und Drehbewegungen auf, wodurch sich die Lage zur Fahrbahn ändert. Der Beschleunigungssensor misst hierbei die Beschleunigung in Form eines Kraftvektors, ein Gyroskop oder Kreiselinstrument den

Lagezustand des Fahrzeugs und ein Magnetometer misst die magnetische Flussdichte zur Lagebestimmung relativ zur Erde. Die drei Sensoren geben also Auskunft über Beschleunigung, Rotation und Orientierung des Fahrzeugs. [ICLODEAN ET AL., 2020]

Kommunikation und Lokalisierung

Zur Kommunikation zwischen Fahrzeug und Fahrzeug (C2C) oder Fahrzeug und Infrastruktur (C2I oder C2X) ist eine Antenne notwendig, die die Daten zwischen den beteiligten Objekten überträgt. Eine Antenne sorgt hierbei für die Verbindung zwischen Fahrzeug und Server und wird darüber hinaus zur Lokalisierung verwendet. [ERSOY & GIES, 2017] Mögliche Technologien zur Kommunikation sind Bluetooth, ITS G5, LTE oder DAB+. Nötig ist diese Technologie vor allem zur Erhöhung der Verkehrssicherheit. So können Streckenbeeinflussungs- oder Lichtsignalanlagen Informationen an das Fahrzeug weitergeben und so den Verkehrsfluss besser regulieren, außerdem können sich Fahrzeuge untereinander über Gefahrenstellen informieren oder andere Zusatzinformationen austauschen. [BECHER ET AL., 2015]

Um vor allem die Kommunikation mit der Infrastruktur zu ermöglichen, ist eine digitale Anschlussfähigkeit der Gegenstände wie Ampeln und Laternen von Nöten. Dadurch werden Gegenstände zu intelligenten Objekten, die mithilfe von straßenseitiger Sensorik Daten aus der Umgebung sammeln. Diese müssen anschließend auf cloudbasierte Plattformen geladen werden, damit diese global zur Verfügung stehen und mit anderen Verkehrsteilnehmern bzw. Objekten ausgetauscht werden können. [FLÜGGE, 2016]

Die Antenne spielt wie bereits angesprochen eine wichtige Rolle bei der Standortbestimmung bzw. Lokalisierung des Fahrzeugs. Die Ortung ist meistens GNSS-basiert (GPS, Galileo) und wird durch die Fahrzeugsensorik ergänzt [FLÜGGE, 2016]. Um einen validen Standort bestimmen zu können, ist eine genaue Ortung im Zentimeterbereich notwendig, was meistens durch Satelliten nicht möglich ist. Die aus den Satellitendaten gewonnenen Karten besitzen außerdem keine ausreichende Anzahl an Attributen, die für das autonome Fahren genutzt werden können. Darüber hinaus ist der Empfang in bewaldeten Gebieten oft schlecht und ist nicht ausreichend für die genaue Lokalisierung. Um eine höhere Genauigkeit zu erreichen, wird deswegen auch in Zukunft auf eine maschinelle Wahrnehmung durch Sensoren zurückgegriffen werden. [WINNER ET AL., 2015] Meistens wird GPS zur Lokalisierung verwendet, um jedoch die Genauigkeit zu erhöhen, wird eine Korrektur mit RTK (real time kinematic) angewendet. Mindestens zwei Antennen, eine an der Basisstation und eine am Fahrzeug, sind notwendig, um eine Genauigkeit im Zentimeterbereich zu erhalten. Die Basis- bzw. Referenzstation sollte hierbei weniger als 50 km vom Fahrzeug entfernt sein. Neben der GNSS/RTK Technik, die beispielsweise Navya nutzt, gibt es auch eine andere Methode, die das Fahrzeug genau lokalisieren lässt, und zwar das SLAM-Verfahren (Simultaneous Localization and Mapping). Bei der

von Easymile genutzten Technik erstellt das Fahrzeug eine Karte der Umgebung (Mapping) und bestimmt gleichzeitig seine räumliche Lage (Simultaneous Localization) innerhalb dieser. Für das Verfahren ist ebenfalls eine genaue Erstellung einer Karte notwendig, was eine präzise Hard- und Softwareausstattung voraussetzt. [ICLODEAN ET AL., 2020]

Zusammenfassung

Laser- bzw. Lidarsensoren werden primär für die Detektion von Objekten (z.B. Personen, Fahrzeuge, Gegenstände) auf mittlerer Entfernung verwendet, Radarsensoren registrieren Hindernisse bereits im Fernbereich. Ultraschall-Sensoren überwachen zusätzlich dazu die Umgebung im unmittelbaren Umfeld des Fahrzeugs, darüber hinaus liefern Kamera-Systeme detailliertere Informationen über die Art und Form der Objekte. Insgesamt wird so ein möglichst umfassendes Bild der Umgebung und der darin befindlichen Objekte mit deren Distanz, Bewegungsrichtung und Klassifizierung gezeichnet. Da jedoch jeder Sensor für sich nicht alle Anforderungen an das autonome Fahren erfüllt und die Zuverlässigkeit der Sensoren nicht immer gegeben ist, ist eine Zusammenführung der verschiedenen Inputdaten erforderlich. Die geschieht in der so genannten Sensordatenfusion [BECHER ET AL., 2015, S. 11]. Insgesamt wird die Fusion angewendet, um die Wahrnehmungsstufe der Umgebung zu erhöhen, was durch eine Kombination oder Einbindung von erworbenen Daten entsteht [BROGGI ET AL., 2013, S. 1413]. Außerdem sollen dadurch falsch positive sowie falsch negative Entscheidungen des Systems unterbunden und eine sichere Fahrt gewährleistet werden [BARNARD, 2016, S. 5].

2.2.4 Straßeninfrastruktur

Eine weitere wichtige Säule ist eine intelligente Infrastruktur, die mit den Verkehrsteilnehmern kommuniziert und sowohl Daten von diesen erhält als auch diese mit Informationen versorgt. Da Fahrzeuge zum heutigen Stand trotz umfangreicher Bordsensorik Schwächen im Betrieb aufweisen, können Maßnahmen in der Infrastruktur diese Beeinträchtigung zielgerichtet vermindern [DIERKES ET AL., 2019, S. 38]. Folgende Szenarien lassen sich formulieren, bei denen die heutigen automatisierten Fahrzeuge an ihre Grenzen kommen bzw. eine flüssige Fahrt mit angemessener Geschwindigkeit nicht möglich ist. Die genannten Beispiele stammen aus den Abschlussberichten des OTS 1.0 und MEC-View Projekts:

- Radfahrer kreuzt von hinten [1]
- Fußgänger kreuzt nach Hindernis [2]
- Linksabbiegen mit verdeckter Sicht [3]
- Rechtabbiegen bei verdeckter Sicht [4]

- Vorfahrt gewähren bzw. rechts vor links [5]
- Folgen einer Vorfahrtsstraße mit verdeckter Sicht [6]
- Zielbremsung bei roter Ampelphase [7]
- Überholen bei Gegenverkehr [8]

Durch die straßenseitige Infrastruktur sollen zum einen Informationen gewonnen werden, die über diejenigen hinausgehen, die durch das Fahrzeug mit eigener Sensorik und Auswerteintelligenz gewonnen werden können. Zu anderen können Informationen bereitgestellt werden, die als Rückfallebene und als Bestätigung von Erkenntnissen der Fahrzeugsysteme dienen und so das Sicherheitsniveau verbessern (z.B. Bestätigung des Freigabe-Signals einer Lichtsignalanlage).

Folgendes Beispiel illustriert die erstgenannte Problemlage:

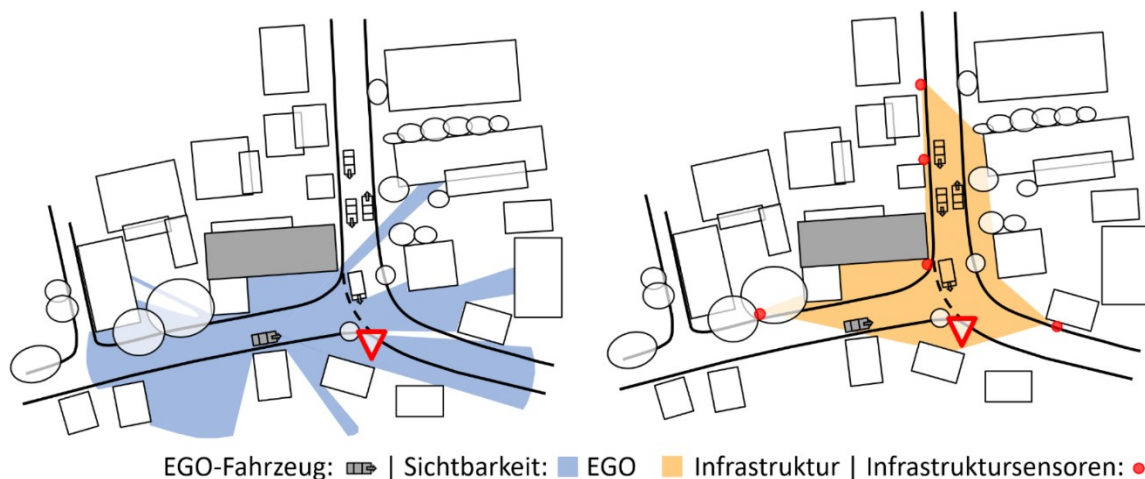


Abbildung 4 Erweiterung Sichtfeld durch Infrastruktursensorik
[ROBERT BOSCH GMBH ET AL., 2020]

Das linke Bild zeigt die Umfelderkennung durch das Shuttle (blau), welche charakterisiert ist durch Abschattungen hinter Fahrzeugen, Bäumen und Gebäuden. Auf der rechten Seite wird zusätzliche Sensorik an Masten installiert, was zu einer deutlich verbesserten Sicht (orange) vor allem in Richtung Norden in den Gegenverkehr führt. Somit wird ein Abbiegen nach Norden sicherer und möglicherweise ohne Halt an der Kreuzung möglich. Die Sicht nach Osten ist bereits durch die fahrzeugeigene Sensorik gut abgedeckt und muss nicht zusätzlich ergänzt werden.

Sensorik

Sensoren können sowohl in der Fahrbahn integriert als auch an Masten und LSA montiert sein. Die im Boden installierten Sensoren können beispielsweise Fahrzeugströme messen und so den Verkehr intelligent steuern [NEUER, 2018]. Außerdem können dadurch Informationen über Witterungsbedingungen bzw. Straßenverhältnisse generiert werden [FRAUNHOFER IPM, 2012, S. 5], wodurch eine angepasste Fahrt des autonomen Fahrzeugs möglich ist. Die Sensorik der Infrastruktur entspricht technisch grundsätzlich der in den Fahrzeugen zum Einsatz kommenden (siehe Kapitel 2.2.3).

Darüber hinaus verwendet beispielsweise das Unternehmen 2getthere elektronische Markierungen bzw. Magnete im Asphalt, um so die Fahrzeuge genauer navigieren zu können [2GETTHERE, 2018b]. Das Zusammenspiel dieser Sensoren im Straßenoberbau unterstützen die Entwicklung von herkömmlichen Fahrbahnen hin zu Smart Roads.

Um eine Vernetzung zwischen verschiedenen Sensoren zu erreichen, werden Road Side Units (RSUs) benötigt. Diese WLAN-basierten Funkmodule sammeln die von der Sensorik gewonnenen Daten und verteilen sie zwischen Fahrzeug und Infrastruktur. Die RSU ist somit Empfänger und Sender zugleich. Dadurch sollen gefährliche Straßenverhältnisse oder Staus zwischen den Verkehrsteilnehmern kommuniziert werden und damit Staus und Unfälle reduziert werden. [HOFACKER, 2015] Die RSU Einheit ist ein dezentraler, stationär straßenseitiger Kommunikationsknoten, die eine Interaktion zwischen Vehicle Station (On-Board Unit) und anderen Elementen möglich macht. [SIMTD, 2015, S. 49] Informationen von der Infrastruktur wie LSA werden durch die Einheit an die Verkehrsteilnehmer weitergeleitet und Daten von den Verkehrsteilnehmern beeinflussen die Verkehrssteuerung, so dass beispielsweise Ampeln bei hohem Verkehrsaufkommen Grünphasen von bestimmten Strömen verlängern oder bei Wechselverkehrszeichen bestimmte Spuren je nach Bedarf freigeben. Gesteuert wird der Verkehr in diesem Fall durch ein Verkehrsmanagementsystem. [SIEMENS, 2020, S. 3]

Hinsichtlich der Datenübertragung ist eine Kommunikation in Echtzeit notwendig, was aufgrund der zu übertragenden erheblichen Datenmengen eine flächendeckende Verfügbarkeit von 5G voraussetzt.

Haltestellenanfahrt

Sofern die Shuttles im Linienbetrieb mit definierten Stopps fahren, sollten die Haltestellen exakt angefahren werden, damit der Spalt zwischen Bus und Plattform möglichst klein ist, um ein barrierefreies und schnelles Ein- und Aussteigen zu ermöglichen. Ein Haltepunkt kann dabei grundsätzlich in drei verschiedenen Varianten in den Straßenraum integriert werden, und zwar am

Straßenrand, an einem Haltestellenkap oder in einer Busbucht [REINHARDT, 2012, S. 402]. Für das Anfahren von autonomen Shuttles gibt es in der Literatur keine speziellen technischen Entwicklungen, sie sind herstellerabhängig. In Bad Birnbach wurde beispielsweise die Anfahrt an die Haltestelle einmalig per Laserscanner eingelesen, wodurch im Anschluss eine präzise Lokalisierung möglich war [RIENER ET AL., 2020, S. 21]. Außerdem wäre auch die Integration magnetischer Markierungen im Fahrbahnboden möglich, die den Bus auf einem optimalen Weg zur Haltestelle leitet [BU & TAN, 2005, S. 117]. Sofern allerdings ein nachfragegesteuerter Verkehr durch die autonomen Minibusse angestrebt wird, werden auch individuelle Haltepunkte ohne physische Haltestelle angefahren, wodurch eine spezifische Technologie nicht mehr nötig ist und somit die Anfahrt nur noch ein Fahrmanöver von vielen ist.

2.2.5 Beispielanwendungen

In Deutschland gibt es zahlreiche Pilotversuche, die sich mit dem autonomen Fahren im öffentlichen Nahverkehr auseinandersetzen, wobei jedes Projekt einen anderen Schwerpunkt in diesem Bereich betrachtet. So untersuchen einige Projekte eher die Wirkung neuer Mobilitätsformen auf die Gesellschaft, wohingegen andere Konzepte Lösungen für den Verkehr in der Stadt oder auf dem Land suchen. Der Verband deutscher Verkehrsunternehmen VDV zählt auf seiner Homepage über 40 solcher autonomer Shuttle-Bus-Projekte, einige für die Anwendung in Unterschleißheim interessante Ansätze werden im Folgenden kurz beschrieben [VDV, 2020]. Bis auf HEAT in Hamburg kommen alle dargestellten Beispiele ohne den Einsatz von Straßeninfrastruktur aus.

Bad Birnbach

Eines der bekanntesten Projekte in Deutschland ist sicherlich das in Bad Birnbach, für das es deutschlandweit die erste Liniengenehmigung für einen hochautomatisierten Shuttlebus gab. Seit April 2017 wird dort auf der zwei Kilometer langen Route geforscht und getestet. Wechselkennzeichen auf der Straße machen die anderen Verkehrsteilnehmer darauf aufmerksam, dass ein autonomes Fahrzeug auf der Strecke ist und reduziert durch die Anzeige deren Geschwindigkeit. Mit 15 km/h ist der Bus „EZ10“ von EasyMile (zweite Generation) eher langsam unterwegs, außerdem ist bei extremen Witterungsbedingungen kein Betrieb möglich. Ziel des Projekts ist es, das letzte Meile Konzept im ländlichen Raum zu erproben und die dortige Erreichbarkeit zu erhöhen. [DB REGIO, 2020] In Bad Birnbach verkehrt der Easymile Bus in Automatisierungsstufe 2. [RIENER ET AL., 2020, S. 63] Als Partner des Betreibers Regionalbus Ostbayern GmbH ist das Unternehmen ioki für die Planung sowie Durchführung von RidePooling mit dem Bus verantwortlich. [IOKI, 2020]

Für kritische Fahrmanöver, wie das Einfahren in eine vorfahrtsberechtigten Straße ist zwingend das Eingreifen eines/einer Sicherheitsfahrer*in notwendig. Auch ist das Fahrzeug stark anfällig für Umwelteinflüsse, wie z.B. vom Wind bewegtem hohem Gras und muss nach einem Stopp manuell wieder angefahren werden.



Bedienteil des/der Sicherheitsfahrer*in



Dynamische Anzeige im Straßenraum

Abbildung 5 **Beispiel Bad Birnbach**
(Fotos: TUM-VT)

NAF-Bus in Keitum auf Sylt

Ähnlich hierzu ist das NAF-Bus/“Emil“ Projekt in Norddeutschland (Nachfragegesteuerter Autonom Fahrender Bus). Je nach Umsetzungsstufe im Projekt dient der Bus entweder zur Personenbeförderung auf einem Privatscampus oder zur On-Demand-Beförderung von Bewohnern auf dem Land. Ziel des Versuches ist es, durch das neue Mobilitätskonzept Mobilitätsengpässe auf dem Land zu verringern und die Erreichbarkeit abgelegener Regionen zu verbessern. Dadurch soll auch die Attraktivität und die Lebensbedingungen nachhaltig angehoben werden. [NAF-Bus, 2020]

Einer der NAF Shuttles vom Typ Navya Evo fährt in Keitum auf Sylt in schwierigem Umfeld. Enge Straßenräume, zahlreiche Fußgänger und Radfahrer, parkende und entgegenkommende Fahrzeuge

fordern die Sensorik und führen vergleichsweise selten zu Not-Stopps. Das Fahrzeug überfährt rechts-vor-links-geregelte Knotenpunkte zuverlässig. Einzig an der Einfahrt in einen Kreisverkehrsplatz muss der/die Sicherheitsfahrer*in eingreifen.



Enger Straßenraum mit parkenden / entgegenkommenden Fahrzeugen, Radfahrern und Fußgängern



Bedienteil des Sicherheitsfahrers

Abbildung 6 Beispiel Keitum (Sylt)
(Fotos: TUM-VT)

See-Meile in Berlin

Die On-Demand-Plattform ioki, ein Tochterunternehmen der Deutschen Bahn DB, erprobt neben dem Projekt in Bad Birnbach noch zwei weitere, eines davon ist in Berlin. Beim Forschungsprojekte „See-Meile“ untersucht ioki die Nutzerakzeptanz von autonomen Shuttles im öffentlichen Nahverkehr in der Stadt. Das Projekt war das erste, bei dem ein autonomes Shuttlefahrzeug im öffentlichen Straßenraum in Berlin getestet wurde. Die 600 m lange Ringlinie wurde bis Januar 2020

im Metro Modus (vorgegebene Haltestellen, kein On-Demand-Service) von dem 15 km/h fahrenden Shuttle EZ10 bedient. Aktuell werden die Daten aus den Pilotversuchen ausgewertet. [BERLINER VERKEHRSBETRIEBE, 2020]



Abbildung 7 Easymile EZ10 auf der Greenwichpromenade in Berlin
(Quelle: www.berlin.de)

HEAT in Hamburg

Ein weiteres sehr interessantes Konzept in Deutschland, das noch in der Testphase steckt, ist das HEAT Projekt (Hamburg Electric Autonomous Transportation). Das Besondere an diesem Beispiel ist, dass zum ersten Mal eine Vernetzung des Shuttlefahrzeugs mit straßenseitiger intelligenter Infrastruktur stattfindet. Die Erprobung dieser C2X-Technologie im ÖPNV Einsatz soll einen fahrerlosen Betrieb im Mischverkehr mit bis zu 50 km/h ermöglichen, was deutlich schneller wäre als bei anderen Projekten. Die Route verläuft in der Hafencity im öffentlichen Straßenraum und umfasst mehrere Kreuzungen und Fußgängerüberwege. Für das Projekt hat IAV zum ersten Mal ein eigenes Fahrzeug entwickelt, Siemens steuert die Infrastruktursensorik bei. [IAV, 2019a]

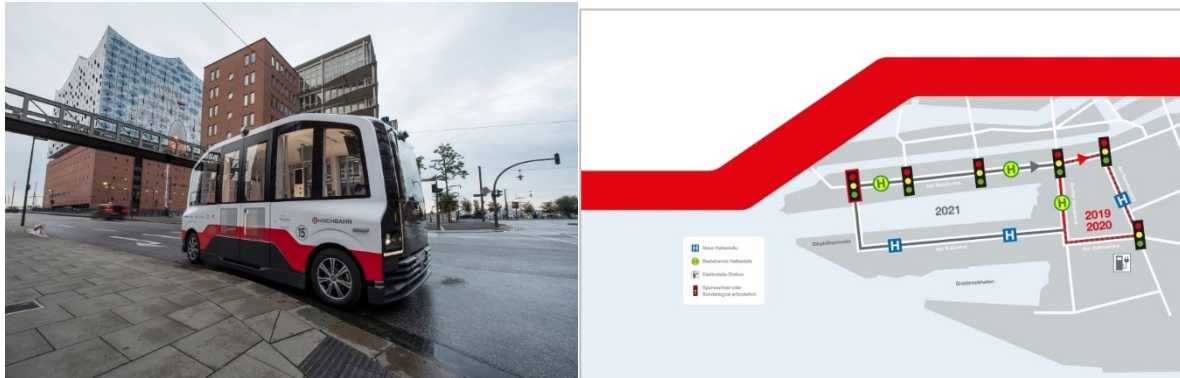


Abbildung 8 HEAT Shuttle und Streckenverlauf mit zahlreichen Lichtsignalanlagen
(Quelle: www.hochbahn.de)

2.2.6 Schlussfolgerungen zur fahrzeugseitigen und infrastrukturseitigen Situation

Mit Stand März 2021 ist klar festzustellen, dass die bestehenden Angebote an Fahrzeugen keinen autonomen Betrieb sicherstellen können. Die komplexen Voraussetzungen in öffentlichen Verkehrsräumen setzen durchgehend die Anwesenheit eines/einer Sicherheitsfahrer*in voraus. Diese menschliche „Rückfallebene“ wird aus heutiger Sicht auch in Unterschleißheim regelmäßig eingreifen müssen (haltende Fahrzeuge in festgelegten Fahrkorridoren, Überfahren von Lichtsignalanlagen, eingeschränkte „Sichtbeziehungen“ der eingesetzten Sensorik). Dem entsprechend ist eine Betriebsgenehmigung ohne verpflichtenden Einsatz eines/einer Sicherheitsfahrer*in nicht zu erwarten. Die Fahrzeuge werden stetig weiterentwickelt und die Fähigkeiten zum automatisierten Einsatz verbessern sich. Es ergeben sich aus heutiger Sicht perspektivisch drei Ansatzpunkte:

- In Unterschleißheim werden die am Markt verfügbaren und am weitesten ausgereiften Modelle eingesetzt. Das können derzeit nur Produkte der Hersteller Easymile und Navya mit Sicherheitsfahrer*in sein. Auch durch den Betrieb in Unterschleißheim werden Impulse zur Weiterentwicklung gesetzt und auch die Stadt profitiert über die Jahre vom technischen Fortschritt. Entstehende Defizite müssen durch Förderprogramme, den Aufgabenträger und ggf. durch den Betreiber (wie durch die DB Regio Bus in Bad Birnbach) getragen werden.
- Die Defizite der Fahrzeugausstattung werden durch straßenseitige Infrastruktur kompensiert. Hier blickt die Fachwelt mit hohem Interesse auf das Projekt HEAT in Hamburg, wo genau das erprobt werden soll. Selbst wenn in Hamburg ein erfolgreicher Einsatz demonstriert werden kann, ist zwar ein wichtiger Schritt gemacht, es entsteht dadurch jedoch noch kein marktfähiges Produkt. Weitere Anwendungen der Technik

werden auf Jahre hinaus Forschungs- und Testanwendungen vorbehalten bleiben. Aber warum sollte eines dieser Testfelder nicht in Unterschleißheim stattfinden?

- Unterschleißheim entscheidet sich für den Einsatz einer neuen Kombination von Fahrzeugsensorik und Infrastrukturunterstützung. Auch dies setzt ein Forschungsprojekt und die Bereitschaft von geeigneten Akteuren voraus. Aus heutiger Sicht kann der Fahrzeughersteller Zetther und sein Ansatz mit Magnetmarkierungen in der Fahrbahn als interessant und aussichtsreich beurteilt werden. Ggf. müssen auch diese Fahrzeuge an Lichtsignalanlagen Unterstützung aus der straßenseitigen Infrastruktur erhalten. Ziel wäre die Kombination eines Fahrzeuges mit „Infrastruktur light“.

Grundsätzlich gilt, ähnlich wie für das hoch automatisierte / autonome Fahren von Privatfahrzeugen, für ÖPNV-Gefäße, dass die Einsatzwahrscheinlichkeit und -häufigkeit umso größer sein wird, je weniger straßenseitige Infrastruktur bereitgestellt werden muss. Skaliert man eine zukünftige Anwendung autonomer Busse auf den gesamten suburbanen / ländlichen Raum, ist eine flächendeckende Ausstattung mit kostenintensiver Infrastruktur zur Unterstützung der Fahrzeuge nicht darstellbar (finanzierbar). Je mehr die Fahrzeuge mittels eigener Sensorik/Intelligenz leisten können, desto wahrscheinlicher wird ein breiter Einsatz.

2.3 Rechtliche Rahmenbedingungen und Bedingungen zur Betriebszulassung

In diesem Kapitel werden die im Zusammenhang mit der Einrichtung eines autonomen Shuttles im Pilotbetrieb relevanten rechtlichen Regelungen zusammengestellt. Zunächst erfolgt ein Überblick über die aktuellen rechtlichen Randbedingungen. Weiterhin werden die Fragen des Haftungsrechtes adressiert sowie die Anforderungen aus Sicht des Datenschutzes und der Datensicherheit beleuchtet. Abschließend erfolgt die Zusammenfassung der zu beachtenden Regelungen auf Grundlage des Personenbeförderungsgesetzes und es werden die Zulassungsvoraussetzungen für den Betrieb eines autonomen Shuttles dargestellt.

2.3.1 Überblick über die derzeitigen rechtlichen Randbedingungen

Um die rechtlichen Randbedingungen verstehen zu können, werden zunächst die Automatisierungsstufen und deren Bedeutung dargestellt. Außerdem ist die Unterscheidung zwischen Zulässigkeit automatisierter Fahrsysteme und Zulassung der Fahrzeuge für das Verständnis der rechtlichen Randbedingungen zu beachten. Ferner handelt es sich bei nachfolgenden Ausführungen nur um ein „Anreißen“ der derzeitigen Rechtslage. Detaillierte Prüfungen sind im Rahmen der Vorbereitungen eines Pilotbetriebes durchzuführen.

Automatisierungsstufen und ihre Bedeutung

Die Automatisierungsstufen haben sich aus der Abgrenzung zwischen Fahrassistent, automatisiertem Fahren und autonomen, fahrerlosem Fahren entwickelt. Der Schwerpunkt wird hier auf die Stufeneinteilung gemäß der Society of Automotive Engineers (SAE) und der Bundesanstalt für Straßenwesen (BASt) gelegt, da im Rahmen der Fortentwicklung des Rechts überwiegend Bezug auf dieses Stufenmodell genommen wird. Die Einordnung in eine bestimmte Stufe erfolgt nicht fahrzeugbezogen, sondern danach welche automatisierten Fahrfunktionen im Fahrzeug insgesamt vorhanden sind. Dadurch kann es zu einer Zuordnung in mehrere Stufen kommen.

Zur technischen Spezifizierung dienen dabei die andauernden Ausarbeitungen der Arbeitsgruppen der WP 29 der United Nations Economic Commission for Europe (UNECE):

- Bei Stufe 1 (*assistiertes Fahren*) und 2 (*teilautomatisiertes Fahren*) übernimmt ein Assistenzsystem teilweise die Fahrzeugsteuerung, der Fahrer muss jedoch jederzeit die Fahrzeugsteuerung und Überwachung übernehmen können und ständig überwachen.
- Die Stufe 3 erfasst den Bereich des *hochautomatisierten Fahrens*. Der Fahrer ist als sog. Rückfallebene jederzeit in der Lage entweder nach ausreichender Vorlaufzeit mit Aufforderung des Systems die Steuerung zu übernehmen oder selbst entscheidend das Assistenzsystem zu überstimmen und steuernd einzugreifen. Eine ständige Überwachung der Verkehrssituation wird nicht vorausgesetzt.
- Bei Stufe 4 (*vollautomatisiertes Fahren*) kann sich bereits kein Fahrer im Fahrzeug befinden, die Personen an Bord sind nur Fahrgäste. Alle Aufgaben des Fahrers werden durch das System übernommen. Der Betrieb ist jedoch eingeschränkt auf einen definierten Verkehrsraum durch die sogenannte Operational Design Domain (ODD). Die Definition erfolgt anhand der Faktoren Fahrbahnbeschaffenheit, Fahrbahntyp, Jahreszeit, Tageszeit, Geschwindigkeitsbegrenzung, Bebauungsdichte und Bebauungsart des Umfeldes.
- In Stufe 5 (*autonomes Fahren*) ist ebenfalls kein Fahrer mehr vorhanden, die vollständige Übernahme der Fahreraufgaben erfolgt durch das System und es ist keine Beschränkung durch Bindung an eine ODD vorhanden.

Die Zuordnung zu einer Stufe beinhaltet zugleich den Umfang der Verantwortlichkeiten bei Fahrer und System in der jeweiligen Fahrsituation. Dabei kommt es wiederum auf die technischen Fähigkeiten des jeweiligen Fahrsystems und dessen Grenzen an. Dieses hat erheblichen Einfluss auf die rechtliche Beurteilung in strafrechtlicher wie zivilrechtlicher Hinsicht.

Wiener Übereinkommen über den Straßenverkehr in der Fassung von 2014

Mit einer Standardisierung der Verkehrsregeln sollte mehr Sicherheit im Straßenverkehr international erreicht werden. Wesentlicher Bestandteil waren bis 2014 das Beherrschbarkeitsgebot und das Führererfordernis. Erst 2014 haben die Vereinten Nationen den Weg für die Zulassung von Fahrsystemen geebnet, gemeint sind Fahrerassistenzsysteme und automatisierte Fahrfunktionen. Diese unterstützen die fahrende Person, die jederzeit entscheidet, ob diese übersteuert oder deaktiviert werden. In Deutschland ist Ende 2016 die Änderung des Wiener Übereinkommens in Kraft getreten.

Festzuhalten ist jedoch, dass sich das Wiener Übereinkommen und seine Ergänzungen von 2014 im Wesentlichen nur auf die Automatisierungsgrade der Stufen 1 bis 3 beziehen [VDA-MAGAZIN, 2015]. Bislang nicht erfasst sind Stufe 4 bis Stufe 5, also vollautomatisiertes und autonomes Fahren ohne dauerhafte Überwachung und ohne natürliche Person an Bord.

Die Entwicklung geht derzeit dahin, dass automatisierte Fahrsysteme, die der Stufe 4 entsprechen, zulässig sind, wenn eine natürliche Person außerhalb, quasi per Fernsteuerung das System kontrolliert und ggf. übersteuern oder deaktivieren kann. Eine Ratifizierung dieser Entwicklung bei allen Mitgliedern des Wiener Übereinkommens ist noch offen und derzeit nicht in Sicht.

UNECE-Regelungen auf Europäischer Ebene

Die bisherigen ECE-Regelungen sind aus der Zusammenarbeit zweier Gremien hervorgegangen und werden weiterentwickelt. Dabei befasst sich eines der Gremien mit der Entwicklung internationaler Abkommen zum Straßenverkehr und das weitere mit den Abkommen zu technischen Anforderungen an die Fahrzeuge. Die große Herausforderung besteht nunmehr darin, die Verhaltensregelungen in technische Anforderungen zu übertragen. Im nationalen Recht erfolgt dieses im Bereich der neuen Regelungen im StVG sowohl hinsichtlich der Zulässigkeit als auch im Bereich der Haftung. Dabei haben sich die Änderungen des StVG bewusst auf die ECE-Regelungen bezogen, um die Verwendung einheitlicher Rechtsbegriffe auf internationaler als auch nationaler Ebene zu fördern.

Gesetzes- und Verordnungs-Änderungen auf nationaler Ebene

Mit dem 8. Gesetz zur Änderung des Straßenverkehrsgesetzes (StVG) vom 16.06.2017 wurde automatisiertes Fahren in nationales Recht aufgenommen. Dabei wurden am 21.06.2017 die §§ 1a,1b,1c und § 63a,63b StVG neu speziell für hoch- und vollautomatisierte Fahrzeuge geschaffen und in § 12 StVG erweitert.

Die Regelungen zur Halter- und Fahrerhaftung in § 7 und § 18 StVG blieben jedoch unverändert. Der Begriff der hoch- und vollautomatisierten Fahrzeuge nach § 1b StVG ist allerdings nicht den Stufen

nach SAE gleichzustellen. Hoch- und vollautomatisiert entspricht in diesem Zusammenhang also nicht den Stufen 4 und 5 nach SAE, sondern bezieht sich auf die Stufe 3 und einschränkend auch auf Stufe 4. Dies bedeutet, dass unter vorgenannten Normen nur solche Fahrzeuge mit automatisierten Fahrfunktionen fallen, die entweder von einem Fahrer im Fahrzeug oder am Fahrzeug, also in unmittelbarer Nähe, aktiviert, deaktiviert oder übersteuert werden können. Fahrerlos bspw. von einer Leitzentrale gesteuerte Fahrzeuge fallen nicht unter den Anwendungsbereich dieser Vorschriften.

Weitere Einschränkungen im Anwendungsbereich ergeben sich hinsichtlich der Genehmigungen von Fahrfunktionen. Zulässig sind nur solche mit EG-Typengenehmigung nach Art. 20 i.V.m. Art. 40 RL 2007/46/EG oder solche die in den ECE-Regelungen genannt sind. Andere Fahrfunktionen, die aufgrund Sondergenehmigungen zugelassen werden unterliegen nicht diesen Vorschriften. Auch im Rahmen der Zulassung wurde keine neue Regelung aufgenommen. Vielmehr gelten als Maßstab nach wie vor die Zulassungsvorschriften für den Betrieb eines Kfz. Dieses erklärt auch, dass bislang Fahrzeuge mit dem Automatisierungsgrad 4 und 5 nur im Testbetrieb laufen und nur auf der Basis von Sondergenehmigungen nach § 70 StVZO i.V.m. § 4 FZV.

Schließlich gelten die Regelungen des Pflichtversicherungsgesetzes auch für automatisierte Fahrzeuge, wobei die grundsätzliche Versicherungspflicht mit den normierten Mindestversicherungssummen in der Höhe im Widerspruch stehen zu den Haftungssummen gemäß § 12 StVG. Eine Angleichung ist bis heute nicht erfolgt. Auf zivilrechtlicher Ebene sind die Deliktshaftung nach den §§ 823 BGB ff. und das Produkthaftungsgesetz zu nennen.

2.3.2 Haftungsfragen

Im Folgenden werden aktuelle Informationen zur Haftung von Halter und Fahrer als auch zur Haftung von Herstellern von (teil-)automatisierten Fahrfunktionen in einem Überblick zusammengestellt.

Strafrechtliche Verantwortung, Fahrlässigkeitshaftung

Der Einsatz von teil- bzw. automatisierten Fahrfunktionen lässt sich nicht ohne weiteres unter strafrechtliche Verantwortlichkeiten einordnen. Hier beginnt die Problematik der Verantwortlichkeit und der Ursächlichkeit für einen Schaden an einer Sache oder für eine Verletzung einer natürlichen Person bereits im Bereich der Stufe 3. Da an der Herstellung von automatisierten Fahrfunktionen zumeist mehrere Hersteller beteiligt sind, ist es bereits schwierig einen Verantwortlichen zu ermitteln, wobei dieses wieder davon abhängig ist, ob es sich tatsächlich um ein Versagen der Technik handelt oder um ein Versagen des Anwenders. Bei autonomem Fahrsystem ohne Eingriffsmöglichkeit entfällt das menschliche Versagen als unmittelbare Ursache der Schädigung.

Ferner ist eine vorsätzliche Begehung auszuschließen. Es bleibt die strafbare Begehung in Form der Fahrlässigkeit. Handelte also eine Person mit der erforderlichen Sorgfalt? Würde eine natürliche Person unter der Beachtung der notwendigen Sorgfalt in der konkreten Situation so handeln? Bei teilautomatisierten Fahrsystemen wurde durch die Regelungen in der StVG und StVO letztendlich ein Risiko eines Schadenseintrittes hingenommen und damit auch der Maßstab für die Annahme der erforderlichen Sorgfalt, da der Gesetzgeber das Risiko für einen Schadenseintritt als eher gering beurteilte. Bei autonomen Fahrsystemen fehlt bislang eine solche Legalisierung, d.h. für den Betreiber eines solchen autonomen Fahrsystems besteht ein sehr hohes Risiko der Haftbarkeit in strafrechtlicher Hinsicht. Dieser Umstand erklärt auch, warum bislang autonome Fahrsysteme besonderer Zulassung bedürfen und/oder im Testbetrieb gehalten werden.

Halter- und Fahrerhaftung nach StVG

Eine Halterhaftung nach § 7 StVG ist sowohl bei automatisierten wie auch bei autonomen Fahrsystemen gegeben. Für die Haftung reicht es bereits aus, dass das Fahrzeug in den öffentlichen Straßenverkehr eingebracht wird (Realisierung der allgemeinen Betriebsgefahr). Diese ist nur dann ausgeschlossen, wenn durch höhere Gewalt der Schaden beim Betrieb des Fahrzeugs verursacht wird. Inwiefern Fehlfunktionen des automatisierten Fahrsystems, sei es nun tatsächlich aus technischen Gründen oder von außen durch Dritte herbeigeführt, bspw. durch Hackerangriff, zum Ausschluss der Halterhaftung führen, weil diese als sogenannte höhere Gewalt beurteilt werden, wird unterschiedlich beurteilt. Es bleibt den Gerichten vorbehalten, hier Rechtsicherheit sowohl für den Halter als auch für Haftpflichtversicherer herbeizuführen.

Die Haftung des Fahrzeugführers ergibt sich aus § 18 StVG. Es gilt die widerlegbare Vermutung, dass der Fahrer das Schadensereignis verschuldet hat (§ 18 Abs. 1 S. 2 StVG). Hinsichtlich der Automatisierungsstufen 1 bis 3 ist diese Haftung noch nachvollziehbar, jedoch ab dem autonomen Fahren, Stufe 4, ist eine verschuldensabhängige Fahrerhaftung nicht erklärbar. Für diesen Bereich wurde § 1b Abs. 2 StVG geschaffen, um die Sorgfaltspflichten bei der Nutzung von automatisierten Fahrsystemen zu konkretisieren, und zusätzlich gemäß § 63 StVG die Verpflichtung des Herstellers Speicherkapazität der Daten während der Aktivierung des automatisierten Fahrsystems zu schaffen. Der Fahrer darf sich während der Fahrt, bei bestimmungsgemäßer Verwendung der Fahrfunktion, abwenden, hat aber die Pflicht wahrnehmungsbereit zu sein. Er muss bei Aufforderung durch das System die Steuerung übernehmen. Ferner hat er bei der Erkennung von offensichtlichen Umständen, die die bestimmungsgemäße Verwendung aufheben, die Fahrzeugsteuerung zu übernehmen.

Bei einer Automatisierung der Stufe 4 i.S.d. StVG ist eine Erkennung von offensichtlichen Gefahrensituationen nur eingeschränkt im Rahmen der ODD möglich, so dass die Verpflichtung aus

§ 1b Abs. 2 Nr. 2 StVG nur dann greifen kann, wenn die Grenzen der ODD erreicht sind. Schließlich scheidet bei der Nutzung eines autonomen Fahrsystems eine Fahrerhaftung nach § 18 StVG aus, da ein menschlicher Fahrzeugführer nicht mehr vorhanden ist.

Produkt- und Produzentenhaftung

Bei der Produkthaftung sind die Vorschriften des Produktsicherheitsgesetzes zu beachten. Dabei werden die Zulässigkeit und die Haftung des Herstellers an der bestimmungsgemäßen Verwendung des Produkts gemessen. Konkret legt der Hersteller die Handhabung des Produkts und die Funktionen fest. Für diesen Bereich wird die Haftung des Herstellers beschränkt. Der Verwender des Produkts darf über diesen Bereich hinausgehen, er verlässt aber dabei den Haftungsbereich des Herstellers. Für automatisierte Fahrfunktionen ist eine solche über die Herstellerhaftung hinausgehende Verwendung nicht zulässig. Hier hat der Gesetzgeber in § 1a Abs. 1 StVG klar normiert, dass nur eine bestimmungsgemäße Verwendung auch zulässig ist, da er sich in dieser Vorschrift der Begrifflichkeit aus dem Produkthaftungsrecht bedient. Damit hätte es aber der Hersteller in der Hand, sich durch Festlegung des bestimmungsgemäßen Gebrauchs einer automatisierten Fahrfunktion von der Haftung frei zu stellen und erheblichen Einfluss zu nehmen, ob diese Fahrfunktion rechtmäßig verwendet wird oder nicht. Diese Vorgehensweise wird jedoch dadurch eingeschränkt, dass die technischen Anforderungen nach wie vor durch die ECE-Regelungen vorgegeben werden und zugleich auch die bestimmungsgemäße Verwendung festlegen. Der Hersteller muss sich somit bei der Beschreibung der angebotenen Systeme an diesen Regelungen orientieren.

Die Produzentenhaftung findet sich in § 823 Abs. 1 BGB geregelt. Dabei gibt es mehrere Pflichtenkreise, die bei einer Verletzung zum Schadensersatz führen können. Zu den Pflichtenkreisen gehört die Konstruktionspflicht, die Fabrikationspflicht, Instruktionspflicht sowie die Produktbeobachtungspflicht. Um diesen Pflichten zu genügen, hat der Hersteller technische Anforderungen an das jeweilige automatisierte Fahrsystem zu erfüllen, gegenüber dem Nutzer des Systems detaillierte Gebrauchsanweisungen und Hinweise zur Gefahrenvermeidung zu erteilen und schließlich bei Kenntnis von technischen Mängeln oder bei Weiterentwicklung des jeweiligen Systems, diese Aktualisierung im Wege eines Software- oder Hardwareupdates dem Nutzer zur Verfügung zu stellen. Dabei wirken diese Pflichten nicht haftungseinschränkend, sondern sind als Mindeststandard zu verstehen.

Autonomes Fahren und Versicherungsrecht

Hinsichtlich des Privatversicherungsrechts ist es irrelevant, ob ein autonomes Fahrsystem oder ein automatisiertes Fahrsystem im Fahrzeug verwendet wird. Wird ein solches Fahrzeug auf öffentlichen

Wegen oder Plätzen verwendet, ist dieses gemäß § 1 Pflichtversicherungsgesetz (PflVG) vom Halter zu versichern. Das Versicherungsunternehmen wiederum ist zum Abschluss einer solchen Kfz-Haftpflichtversicherung verpflichtet (sog. Kontrahierungszwang). Die bisherigen Regelungen sind daher ausreichend, um den Halter/Eigentümer eines mit autonomen Fahrsystem ausgestatteten Fahrzeug bei Schädigungen vor erheblichen Forderungen zu schützen und um den geschädigten Dritten Schadensersatz zu sichern. Einziges notwendiges Korrektiv wäre eine Angleichung der Haftungssummen zwischen der Halter- und Fahrerhaftung nach StVG und den Mindestversicherungssummen nach dem PflVG und der Kraftfahrzeug-Pflichtversicherungsverordnung (KfzPflVV). Für den Abschluss der notwendigen Haftpflichtversicherung empfiehlt sich, die bereits für die Zulassung des Kfz zusammengestellten Unterlagen und Gutachten dem Versicherer vorzulegen, damit dieser die mit dem automatisierten Fahren verbundenen Risiken bewerten kann und eine risikogerechte Kalkulation des Versicherungstarifs vornehmen kann.

2.3.3 Datenschutz und Datensicherheit

Datenschutz

Der Datenschutz und die Datensicherheit sind für alle Stufen nach SAE relevant. Dabei ist im Rahmen des ständigen Datenaustausches die Kommunikation innerhalb des Fahrzeugs, von Fahrzeug zu Fahrzeug, von Fahrzeug zu Infrastruktur und Umgebung, einschließlich der Kommunikation zu anderen Geräten und Netzwerken bei der Sicherung dieses Datenflusses zu beachten. Schließlich gilt, dass mit steigendem Grad der Automatisierung der Fahrfunktionen die Erfassung, Verarbeitung und Speicherung der Daten zunimmt. Auch wenn im Bereich der Durchsetzung der Datenschutzgrundverordnung (DSGVO) eine positive Entwicklung zum Datenschutz festzustellen ist, so wird speziell für den Bereich autonomer Fahrsysteme eine Fortentwicklung der geltenden Schutznormen unerlässlich. So sollen schon jetzt nach § 12 StVG Datenschreiber oder Blackboxes darüber Auskunft geben können, wer ein Fahrzeug zum Unfallzeitpunkt geführt hat. Andererseits ist in § 63a StVG eine entsprechende Einschränkung der Verwendung dieser Daten normiert. Bereits durch Gesetz ist somit der sachliche Anwendungsbereich der DSGVO gegeben, da ein Personenbezug hergestellt wird. Danach stellt sich die Frage der Verantwortlichkeit für den Schutz dieser personenbezogenen Daten. Als Verantwortlicher kommen Hersteller, Halter und Eigentümer, Werkstätten und auch Telekommunikationsanbieter in Frage. Dabei ist entscheidend, ob durch ihr Handeln oder schon durch zur Verfügung stellen nur einer Komponente personenbezogene Daten tatsächlich verarbeitet werden. Schließlich wird eine solche Datenverarbeitung rechtmäßig, wenn die betroffene Person dieser zuvor zugestimmt hat.

Bislang durch Gesetz oder Verordnung nicht erfasst sind solche Daten, die nicht personenbezogen sind, aber dennoch erfasst werden. In der Wirtschaft haben diese Daten einen hohen Wert, geben sie doch Auskunft über die Fahrsysteme und Fahrzeuge sowie über das Umfeld, in dem sich das automatisierte Fahrzeug bewegt. Damit sind die Fragen, wer Daten von einem Fahrzeug abgreifen und wer sie verwerten darf, weiterhin ungeklärt. Zum Thema Datenhoheit fehlen bislang Regelungen und vor allem Grenzen. Zwischen den Akteuren eines Pilotprojektes sind daher entsprechende Vertraulichkeitsvereinbarungen abzuschließen.

IT-Sicherheit

Sicherheit hat höchste Priorität – entsprechend müssen die Steuersysteme so aufgebaut sein, dass auch bei Ausfällen eine sichere Fahrzeugsteuerung möglich ist. Das gilt genauso für mögliche externe Zugriffs- und Manipulationsversuche. Die Sicherheit der IT ist u.a. in § 2 Abs. 2 Gesetz über das Bundesamt für Sicherheit in der Informationstechnik (BSI-Gesetz - BSIG) definiert. Ergänzend dazu gelten die Definitionen der Begrifflichkeiten der DIN 44300 und speziell die Zertifizierung nach ISO 27001. Hinsichtlich der Verantwortlichkeit gegenüber Dritten und gegenüber demjenigen, der das automatisierte Fahrsystem nutzt, ist dabei der relative Sicherheitsbegriff hervorzuheben. [GAYCKEN & KARGER, 2011] Dieser besagt, dass ein Fahrsystem dann als sicher bezeichnet werden kann, wenn „die Risiken, die beim Einsatz von Informationstechnik aufgrund von Bedrohungen und Schwachstellen vorhanden sind, durch angemessene Maßnahmen auf ein tragbares Maß reduziert sind.“ [BSI, 2016] Dabei werden die im Rahmen der Erlangung der Zertifizierung durchzuführenden Maßnahmen als angemessen betrachtet.

Ein Betreiber eines solchen automatisierten Fahrsystems im öffentlichen Raum ist also auch als Normadressat des BSIG zu betrachten, da im Hinblick auf den externen und internen Datenaustausch während der Nutzung des Systems der Bereich der kritischen Infrastruktur berührt ist. Konkret bedeutet dieses, dass die Beachtung der normierten Sicherheitsanforderungen und Meldepflichten nach dem BSIG für den Betreiber automatisierte Fahrfunktionen empfohlen wird.

2.3.4 Personenbeförderungsrecht und Doppelbedienungsverbot

Das Personenbeförderungsrecht kommt bei entgeltlicher oder geschäftsmäßiger Beförderung von Personen zur Anwendung. Es findet sich im Personenbeförderungsgesetz (PBefG) wieder. Das Gesetz unterscheidet zwischen Linienverkehr (§ 42 PBefG) und Gelegenheitsverkehr (§ 46 PBefG). Beide Verkehre sind nach dem PBefG genehmigungspflichtig. Mit der Erteilung einer Genehmigung ergibt sich für den Antragsteller sowohl eine Betriebspflicht (§ 21) als auch eine uneingeschränkte Beförderungspflicht (§ 22), die wiederum speziell in der Verordnung über den Betrieb von

Kraftfahrunternehmen im Personenverkehr (BOKraft) geregelt ist. Durch die vorgesehene Novellierung des PBefG werden auch neue Mobilitätskonzepte leichter genehmigungsfähig. Dabei besteht auch die Möglichkeit den Betrieb von autonomen Fahrzeugsystemen zu genehmigen. Hier handelt es sich jedoch zumeist um Genehmigungen für einen Testbetrieb von kurzer Dauer.

Darüber hinaus ist bei Genehmigung bspw. eines E-Shuttle-Betriebs im Linienverkehr das in § 13 PBefG geregelte Doppelbedienungsverbot zu beachten.

Es sollte daher vor Antragstellung zur Zulassung geprüft werden, ob für die geplante Fahrstrecke für das autonome Fahrsystem Liniengenehmigungen vorliegen. Diese Überprüfung ist jedoch nur dann erforderlich, wenn die geplante Personenbeförderung entgeltlich und geschäftsmäßig stattfindet. Für Testbetriebe oder Shuttle-Modelle, die zwar im Linienverkehr eingebunden werden, deren Betriebskosten jedoch den Beförderungserlös und /oder Ausgleichsleistung übersteigen, ist das PBefG nicht anwendbar.

2.3.5 Zulassungsvoraussetzungen

Entscheidend für die Zulassung eines Kraftfahrzeugs ist die Fahrzeugzulassungsverordnung (FZV). Die FZV regelt, wann und unter welchen Bedingungen ein Kraftfahrzeug zum Straßenverkehr zuzulassen ist. In der Straßenverkehrszulassungsverordnung (StVZO) sind die technischen Vorgaben für die Zulassung von Fahrzeugen festgelegt.

Die FZV unterscheidet nach Fahrzeugtypen. Fahrzeuge mit autonomen Fahrsystemen lassen sich den genannten Typen nicht zuordnen. Da es sich bei den als autonome Shuttles eingesetzten Fahrzeugen um nicht serienmäßig in größerer Stückzahl gefertigte Fahrzeuge handelt, ist eine Typengenehmigung und eine allgemeine Betriebserlaubnis nach § 20 StVZO nicht zielführend. Eine Zulassung erfolgt daher als Einzelbetriebserlaubnis gemäß § 2 Nr. 4a FZV. Die Voraussetzungen der Europäischen Typengenehmigung sind in der Richtlinie 2007/46/EG geregelt. Diese Richtlinie verweist auf die Regeln der United Economic Commission for Europe (UNECE-Regeln). Die Erteilung einer Zulassung erfolgt nach den besonderen Regelungen der EG-Fahrzeuggenehmigungsverordnung (EG-FGV). Diese ermöglicht neben einer EG-Typgenehmigung (Kapitel 2.3.1) auch eine Einzelgenehmigung für Fahrzeuge gemäß § 13 EG-FGV. Hinzu kommen die Umsetzungen dieser Regelungen auf nationaler Ebene nach der StVZO.

Vor diesem rechtlichen Hintergrund muss die Zulassung eines autonom fahrenden Shuttles im öffentlichen Verkehrsraum als Einzelgenehmigung erfolgen. Hierzu sind folgende Regelungen von besonderem Interesse:

1. Gutachten eines amtlich anerkannten Sachverständigen zur Erteilung einer **Ausnahmegenehmigung nach § 70 StVZO** für spezielle technische, bauliche Veränderungen (hinsichtlich Sitze, Sicherheitsgurt, Bremsen, Spiegel, fehlendes Lenkrad). Hierbei erfolgt die Überprüfung der besonderen Elektronik unter Beachtung der ISO 26262 (ISO-Norm für sicherheitsrelevante elektrische/elektronische Systeme in Kraftfahrzeugen).
Vorulegen bei der Regierung der Oberpfalz als die für den gesamten Freistaat zuständige Behörde.
2. Gutachten eines amtlich anerkannten Sachverständigen zur Erteilung einer **Einzelbetriebserlaubnis nach § 21 StVZO**. Dies beinhaltet u. a. Ausnahmegenehmigungen für die Mitnahme von Kindern ohne Kindersitz, Fahrgäste ohne Gurt und ggf. stehend.
Vorlegen bei der Kfz-Zulassungsstelle des zuständigen Landratsamtes.
3. Vorlage eines entsprechenden **Streckenkonzeptes** sowie eines **zugehörigen Sicherheitskonzeptes** bei der unteren Straßenverkehrsbehörde des zuständigen Landratsamtes. Aus diesen Ausarbeitungen muss erkenntlich sein, wie die in den beiden Gutachten formulierten Auflagen in technischer Hinsicht umgesetzt werden. Dies betrifft neben den angesprochenen Regelungen z. B.:
 - § 29 StVO: Sichtfeldeinschränkung durch die Fahrzeugkonstruktion
 - § 45 StVO: Anordnung zusätzlicher Haltestellen, Geschwindigkeitsbeschränkungen
 - § 46 StVO: Benutzung gesperrter Straßen

Die Einzelbetriebserlaubnis bezieht sich dabei immer auf den Einsatz des im Gutachten benannten Fahrzeuges (inkl. der beschriebenen Änderungen und umbauten) auf der im Streckenkonzept dargestellten Route.

Im Rahmen des „Gesetzesentwurf zum autonomen Fahren sowie über eine Verordnung zur Genehmigung und zum Betrieb von Kraftfahrzeugen mit autonomer Fahrfunktion in festgelegten Betriebsbereichen“ wird derzeit auch eine Änderung des beschriebenen Zulassungsverfahrens diskutiert. Zum Zeitpunkt der Berichtslegung (März 2021) liegen hierzu jedoch noch keine Informationen zu genauen Inhalten der überarbeiteten Regelungen vor.

3 Erschließungskonzept

Im Rahmen des Pilotprojekts beabsichtigt die Stadt Unterschleißheim, durch die Verwendung von autonom fahrenden Elektro-Fahrzeugen, eine Anbindung des Stadtteils Riedmoos an das Kerngebiet Unterschleißheims umzusetzen. Zudem soll ein Pendelverkehr zwischen dem S-Bahnhaltepunkt Unterschleißheim West und dem Industrie- und Gewerbestandort Business Campus eingerichtet werden (siehe Abbildung 9). Die jeweiligen Erschließungskonzepte und deren Erarbeitung werden im Folgenden analysiert, bewertet und begründet. Ziel ist es, ein Erschließungskonzept zur Verfügung zu stellen, mit dem einerseits den Anforderungen autonom fahrender Fahrzeuge Rechnung getragen wird und andererseits den potenziellen Nutzern ein attraktives ÖPNV-Angebot geboten gestellt wird.

In einem ersten Schritt ist es daher notwendig, die geplanten Anbindungen einer näheren Untersuchung zu unterziehen. Dabei gilt es denkbare Linienführungen auszuarbeiten und diese im Hinblick auf die Straßenführung und Topografie genauer zu prüfen. Zudem müssen Aspekte wie Straßenbreiten und Befahrbarkeit, Halte- und Wendemöglichkeiten sowie relevante Hindernisse für autonom fahrende Fahrzeuge aufgezeigt und bewertet werden.

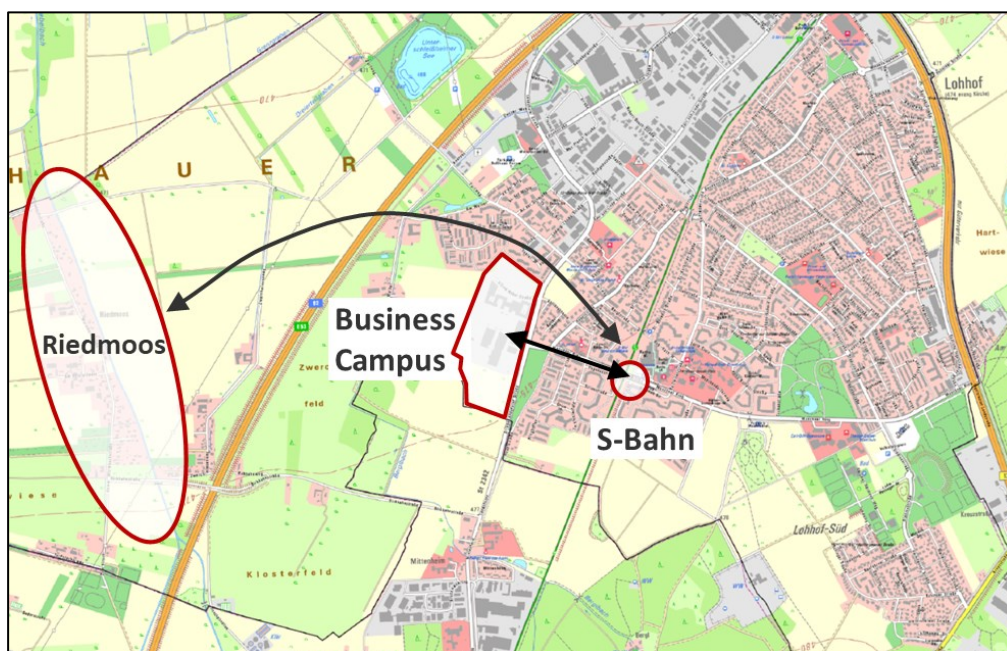


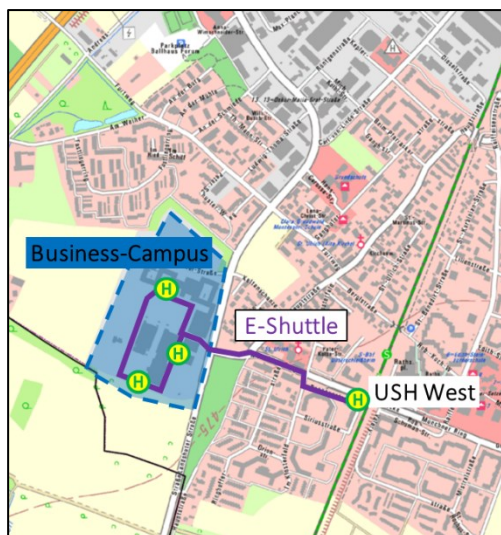
Abbildung 9 Gebiete mit geplanter Anbindung durch einen autonomen Kleinbus
(Quelle Hintergrundkarte: Stadt Unterschleißheim)

Im Folgenden wird zunächst das Erschließungskonzept für das Areal des Business Campus vorgestellt. Anschließend erfolgt die Analyse und Bewertung von Routenvarianten zur Anbindung des Stadtteils Riedmoos.

3.1 Erschließungskonzept Business Campus

Der Business Campus befindet sich westlich des S-Bahnhofes Unterschleißheim und am westlichen Rand der Kernstadtgebiets der Stadt Unterschleißheim. Aktuell haben 14 Unternehmen einen Standort auf dem Areal des Business Campus. Gemäß Angaben der Stadt Unterschleißheim sind dort momentan ca. 1.800 Mitarbeiter beschäftigt und es wird erwartet, dass in etwa 10-15 Jahren die maximale Mitarbeiterzahl von 4.500 erreicht sein wird.

Die Route vom S-Bahnhof Unterschleißheim, Haltestelle Unterschleißheim West (westliche Bushaltestelle des S-Bahnhofs Unterschleißheim), zum Business Campus verläuft über die Pegasusstraße, Im Klosterfeld, den Münchner Ring und mündet nach Überquerung der Landshuter Straße in den Emmy-Noether-Ring. Nach der Schleife entlang des Emmy-Noether-Rings geht es auf gleichem Weg wieder zurück zum S-Bahnhof Unterschleißheim. Dabei werden vier Haltestellen durch den Pendelverkehr zum Business Campus bedient. (siehe Abbildung 10)



Haltestellen:

- 🚏 Unterschleißheim West
- 🚏 Business Campus, Haltestelle 1
- 🚏 Business Campus, Haltestelle 2
- 🚏 Business Campus, Haltestelle 3

Abbildung 10 Route: S-Bahnhof Unterschleißheim West - Business Campus Unterschleißheim
(Quelle Hintergrundkarte: Stadt Unterschleißheim)

Der in Tabelle 2 dargestellte Umlauf, bestehend aus Hin- und Rückfahrt zum Business Campus inklusive der Rundtour entlang des Emmy-Noether-Rings, hat eine Länge von 2,1 km. Die voraussichtliche Fahrtzeit bei einer angenommenen Geschwindigkeit von 20 km/h und ohne Störungen bzw. Verlustzeiten während der Fahrt sowie ohne Fahrgastwechsel, beträgt 8 Minuten.

Haltestelle	Fahrtweg [km]	Fahrtzeit [min] bei 20 km/h
Unterschleißheim West		
Business Campus 1	0,7	3
Business Campus 2	0,9* / 1,1	4
Business Campus 3	1,3	5
Unterschleißheim West		8

* Haltestellenabfolge im Uhrzeigersinn

Tabelle 2 Kennwerte Strecke S-Bahnhof Unterschleißheim West – Business Campus Unterschleißheim

3.2 Erschließungskonzept Riedmoos

Der Stadtteil Riedmoos befindet sich im westlichen Gemeindegebiet der Stadt Unterschleißheim sowie westlich der Bundesautobahn A92. Die A92 durchschneidet in einem Bogen das gesamte Stadtgebiet der Stadt Unterschleißheim in Nord-Süd-Richtung und bildet eine Grenzlinie zwischen dem dichter besiedelten Osten und dem dünner besiedelten Westen. Der Stadtteil weist mit nur 458 Einwohnern [STADT UNTERSCHLEIßHEIM, 2020] einen dörflichen Charakter auf. Bei der Verteilung der Altersklassen hat die erwerbstätigen Altersgruppe der 18-bis 67-Jährigen einen Anteil von 67 % [STADT UNTERSCHLEIßHEIM, 2020].

Bisher besteht keine Anbindung des Stadtteils an den ÖPNV. Eine MVG-Radstation stellt das einzige Mobilitätsangebot im Stadtteil dar. Im Nahverkehrsplan des Landkreises München [LANDRATSAMT MÜNCHEN, 2020] ist ab Dezember 2021 eine Anbindung durch einen Kleinbus der MVV-Linie 299 geplant. Dieser soll im 60 min-Takt sowie mit Verstärkerfahrten in der morgendlichen Hauptverkehrszeit verkehren. (siehe Abbildung 11)



Abbildung 11 **Geplante Buslinie 299**
(Quelle Hintergrundkarte: Stadt Unterschleißheim)

Zur Anbindung des Stadtteils Riedmoos an das Kerngebiet Unterschleißheim werden zwei alternative Routen geprüft (siehe Abbildung 12, Nordroute und Südroute).

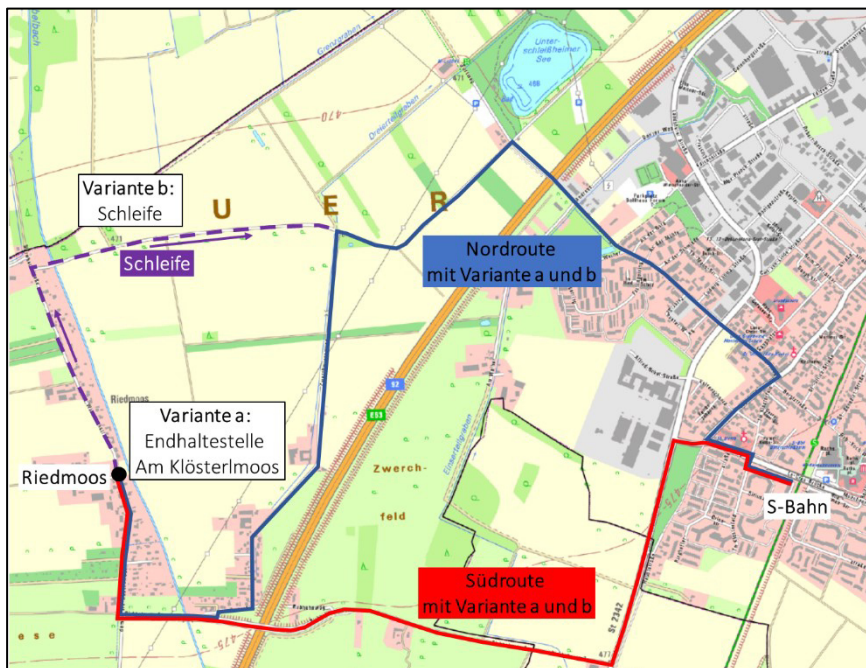


Abbildung 12 **Routenvarianten Riedmoos**
(Quelle Hintergrundkarte: Stadt Unterschleißheim)

3.2.1 Routenvariante Nord

Die Nordroute Riedmoos (siehe Abbildung 13) verläuft über die Pegasusstraße, den Münchner Ring, die Hauptstraße sowie den Furtweg und führt anschließend über eine schmale, für Kfz gesperrte, Straße nach Riedmoos in die Würmbachstraße. Im Streckenverlauf befinden sich zwei Lichtsignalanlagen (LSA) und eine Fußgängerschutzanlage (FSA). Die Strecke führt nahezu ausschließlich durch verkehrsberuhigte Bereiche und ist überwiegend mit 30 km/h befahrbar, lediglich entlang des Münchner Rings ist eine zulässige Höchstgeschwindigkeit von 50 km/h vorgeschrieben. Mögliche Verzögerungen können sich durch parkende Fahrzeuge am Straßenrand in der Hauptstraße und im Furtweg bis in die Landshuter Straße sowie zwischen Am Weiher und Andreas-Danzer-Weg ergeben. Zudem sind Begegnungsverkehre möglich, die Ausweichmanöver während der Fahrt des autonomen Shuttles erforderlich machen. Der Furtweg überquert die Autobahn, wodurch Steigung und Gefälle bewältigt werden müssen. Diese Höhenunterschiede und Längsneigungen sind jedoch grundsätzlich durch das E-Shuttle zu leisten. Daran anschließend verläuft die Route über eine schmale Straße mit Durchfahrtsverbot für Kraftfahrzeuge, ausgenommen landwirtschaftlicher Verkehr. Begegnungsverkehre mit landwirtschaftlichen Fahrzeugen sind daher auf diesem Abschnitt sehr wahrscheinlich.

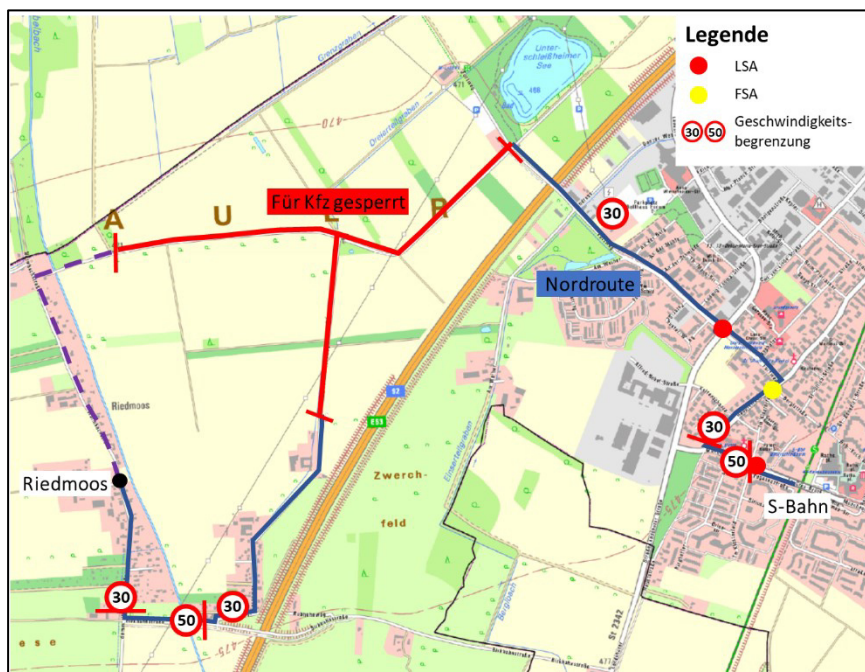


Abbildung 13 Nordroute Riedmoos
(Quelle Hintergrundkarte: Stadt Unterschleißheim)

Ab dem Unterschleißheimer See beträgt die Straßenbreite ca. 4 m und im Bereich der Kreuzung Furtweg / Zwerchwiesenweg teilweise nur 2,8 bis 3,0 m vorhanden. In Riedmoos besteht entweder die Möglichkeit die Route über einen Wendehammer an der Endhaltestelle (Variante a in Abbildung 12) auf gleichem Weg zurück oder über eine Weiterführung mit Anbindung des nördlichen Ortsteils von Riedmoos (Variante b; Schleife in Abbildung 12) wieder Richtung Furtweg zu führen.

3.2.2 Routenvariante Süd

Die Südroute (siehe Abbildung 14) verläuft vom S-Bahnhof Unterschleißheim über die Pegasusstraße, den Münchner Ring, die Landshuter Straße, die Birkhahnstraße und endet in Riedmoos in der Würmbachstraße. Im Streckenverlauf befinden sich drei Lichtsignalanlagen (LSA). Die zulässigen Höchstgeschwindigkeiten entlang der Strecke können, bei einer angenommenen Höchstgeschwindigkeit des E-Shuttles von 20 km/h, im Fahrtverlauf zu erheblichen Geschwindigkeitsdifferenzen zwischen E-Shuttle und anderen Verkehrsteilnehmern führen. Zudem ist die Birkhahnstraße gekennzeichnet durch einen teilweise kurvigen Straßenverlauf mit stellenweisen Straßenschäden. In ihrem Verlauf überquert die Birkhahnstraße ebenfalls die A92, wodurch, analog zur Nordroute, Steigung bzw. Gefälle zur bewältigen sind. Diese Höhenunterschiede und Straßenneigungen sind jedoch auch an dieser Stelle grundsätzlich durch ein E-Shuttle zu leisten.

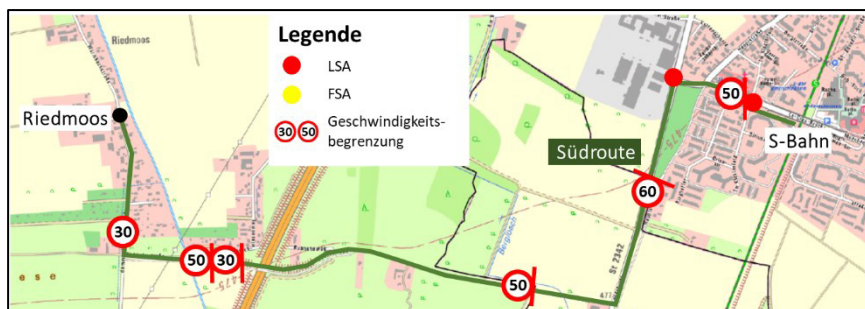


Abbildung 14 Südroute Riedmoos
(Quelle Hintergrundkarte: Stadt Unterschleißheim)

3.2.3 Vergleich Routenvarianten Riedmoos

Bei der Bewertung möglicher Fahrtrouten für das Pilotprojekt wurde auch ein Fahrtzeitvergleich mit dem bestehenden ÖPNV-Angebot berücksichtigt. Zum Vergleich der Streckenvarianten wurden die Nord- sowie die Südroute in Tabelle 3 gegenübergestellt. In dieser Gegenüberstellung sind positive Aspekte grün, negative Aspekte rot hinterlegt, eine gelbe Hinterlegung weist auf eine „Mittlere“

Einschätzungen hin. Der Vergleich beider Routen mit der ab Dezember 2021 geplanten Anbindung durch die Buslinie 299 zeigt eine deutlich längere Fahrtzeit des E-Shuttles gegenüber der Buslinie.

Zusammenfassend zeigt die Analyse beider Routenvarianten, dass nicht nur durch die bereits zuvor benannten Gefahren- und Konfliktstellen entlang der Strecken, sondern insbesondere auch durch den Fahrtzeitvergleich beider Routen mit dem geplanten ÖPNV-Angebot, dass eine Anbindung des Stadtteils Riedmoos durch ein E-Shuttle als nicht geeignet zu bewerten ist.

Streckenvergleich	Riedmoos	
	Nordroute über Furtweg	Südroute über Landshuter Straße
Betriebliche Randbedingungen E-Shuttle		
Beschaffenheit des Weges Straßenführung	teilweise sehr eng, schlechte Straßenoberfläche, landwirtschaftliche Wege	gut ausgebaut, Hauptstraßen, z.T. außerorts
Konfliktpotential (Geschwindigkeitsdifferenz mIV / Verkehrssicherheit, Randbedingungen Zulassung)	gering überwiegend 30 km/h	hoch stark befahren, große Geschwindigkeitsdifferenzen ggf. größere Hürden für eine Zulassung
Hindernisse (physisch, praktisch)	Begegnungsverkehr mit landwirtschaftlichen Fahrzeugen, parkende Fahrzeuge am Straßenrand	mittel (parkende Fahrzeuge am Straßenrand)
Aufwand Infrastruktur	hoch (aufgrund großer Streckenlänge)	hoch (aufgrund großer Streckenlänge)
Randbedingungen ÖV-Betrieb allgemein		
Fahrtdauer	33 Minuten (Variante a) / 31 Minuten (Variante b)	23 Minuten (Variante a) / 31 Minuten (Variante b)
Weglänge	11,0 km (Variante a) / 10,5 km (Variante b)	7,7 km (Variante a) / 10,4 km (Variante b)
Vergleich mit dem bestehenden/geplanten ÖV-Angebot		
Fahrtdauer E-Shuttle (Hin- und Rückfahrt)	33 / 31 Minuten	23 / 31 Minuten
Fahrtdauer Bus (Hin- und Rückfahrt)	17 Minuten	17 Minuten
Nutzerpotenzial		
Erschlossene Einwohnerzahl	gering	gering
weitere Flächenerschließung	mittel, Gebiet kann durch zusätzliche Haltestellen (Unterschleißheimer See, Kleingartenanlage) weiter erschlossen werden	gering, keine zusätzlichen Haltestellen gegenüber Buslinie 299

Tabelle 3 Streckenvergleich Nord- und Südroute Riedmoos

3.2.4 Alternativroute Siedlung „Am Weiher“

Als alternatives Erschließungsgebiet bietet sich in Unterschleißheim angesichts der schwierigen Randbedingungen zur Erschließung von Riedmoos die Siedlung „Am Weiher“ an. Sie befindet sich am westlichen Rand der Stadt Unterschleißheim unmittelbar östlich angrenzend an die A92. Der Stadtteil weist mit 2699 Einwohnern [STADT UNTERSCHLEIßHEIM, 2020] gegenüber Riedmoos ein deutlich höheres Nutzerpotential auf. Bei Betrachtung der Altersstruktur zeigt sich, ähnlich zu Riedmoos, eine klare Dominanz der erwerbstätigen Altersgruppe der 18- bis 67-Jährigen (67 %) [STADT UNTERSCHLEIßHEIM, 2020].

Am östlichen Rand (siehe Abbildung 15) der Siedlung verkehrt die MVV-Buslinie 218 im 10 min-Takt und bietet den dortigen Anwohnern somit eine ÖPNV-Verbindung zum S-Bahnhof Unterschleißheim. Insgesamt ist die ÖPNV-Anbindung der Siedlung jedoch als schlecht zu bewerten, da im inneren Bereich der Siedlung keinerlei ÖPNV-Angebote zur Verfügung stehen.



Abbildung 15 Vorhandene ÖPNV-Anbindung der Siedlung „Am Weiher“
(Quelle Hintergrundkarte: Stadt Unterschleißheim)

Zur Anbindung der Siedlung „Am Weiher“ soll die Route des E-Shuttles vom S-Bahnhof Unterschleißheim über die Pegasusstraße, den Münchner Ring, die Hauptstraße und den Furtweg direkt in die Mitte der Siedlung führen. (siehe Abbildung 16)

Die Streckenführung verläuft dabei nahezu ausschließlich durch verkehrsberuhigte Bereiche mit einer zulässigen Höchstgeschwindigkeit von 30 km/h (siehe Abbildung 16). Bei einer angenommenen Höchstgeschwindigkeit des E-Shuttles von 20 km/h ist im Fahrtverlauf mit nur geringen Geschwindigkeitsdifferenzen zwischen dem E-Shuttle und anderen Verkehrsteilnehmern zu rechnen. Entlang der Strecke befinden sich zwei LSA sowie eine FSA (siehe Abbildung 16). Zu Beeinträchtigungen durch parkende Autos am Straßenrand kann es in der Hauptstraße und dem Furtweg kommen. Zudem sind dadurch Begegnungsverkehre möglich, die Ausweichmanöver während der Fahrt erforderlich machen.

Die Position möglicher Haltestellen im Streckenverlauf zeigt Abbildung 16. Nach Abfahrt an der Haltestelle Unterschleißheim West (westliche Bushaltestelle des S-Bahnhofs Unterschleißheim) soll

die Haltestellen Berglstraße, Ludwig-Thoma-Straße und Am Weiher angefahren werden. Als Wendemöglichkeit wäre grundsätzlich Strecke über den Fastlingerring geeignet. Aufgrund hohen Parkdrucks und schwierigen Durchfahrungsbedingungen sollte aber eine alternative Wendemöglichkeit entlang der Straße Am Weiher geprüft werden. Die Gesamtstrecke (Hin- und Rückfahrt) zwischen den Haltestellen Unterschleißheim West und Am Weiher beträgt 3,2 km. Die voraussichtliche Fahrtzeit beläuft sich bei einer angenommenen Geschwindigkeit 20 km/h sowie ohne Störungen/Verlustzeiten und ohne Fahrgastwechsel 12 Minuten (Hin- und Rückfahrt). Die Zeit für eine Fahrt zur nächsten Wendemöglichkeit ist hierbei nicht enthalten.



Haltestellen:

-  Unterschleißheim West
-  Berglstraße
-  Ludwig-Thoma-Straße
-  Am Weiher

Abbildung 16 Mögliche Haltestellen entlang der Route S-Bahn Station Unterschleißheim West – Siedlung „Am Weiher“
(Quelle Hintergrundkarte: Stadt Unterschleißheim)

3.2.5 Zusammenfassender Streckenvergleich

Die Analyseergebnisse der Route zur Siedlung „Am Weiher“ sind im Überblick in Tabelle 4 zusammengefasst und den Ergebnissen der Routenvarianten Riedmoos gegenübergestellt. Zusammenfassend zeigt die Untersuchung der Kategorien „betriebliche Randbedingungen E-Shuttle“, „Randbedingungen ÖV-Betrieb allgemein“, „Vergleich mit bestehendem/geplanten ÖV-Angebot“ und „Nutzerpotenzial“, dass die Siedlung „Am Weiher“ als mögliches Erschließungsgebiet allgemein besser geeignet ist als die Anbindung des Stadtteils Riedmoos. Insbesondere der Fahrtzeitvergleich zwischen dem E-Shuttle der bestehenden Buslinie 218 bis zur Haltestelle Landshuter Straße zeigt,

dass durch die Anbindung mit einem E-Shuttle, eine durchaus konkurrenzfähige Alternative zum bestehenden ÖPNV-Angebot geschaffen werden kann, zumal die vorhandene Buslinie die Siedlung nur am äußeren Rand erschließt. Neben dem besseren ÖPNV-Angebot für die Siedlung selbst, ergibt sich auch für das Naherholungsgebiet Unterschleißheimer See, welches von der Haltestelle Am Weiher fußläufig erreichbar ist, eine bessere Anbindung durch den ÖPNV. Schlussendlich besteht in der Siedlung „Am Weiher“ mit 2.699 Einwohnern ein weitaus höheres Nutzerpotenzial als bei dem nur 458 Einwohner zählenden Stadtteil Riedmoos.

Streckenvergleich	Riedmoos		Siedlung „Am Weiher“
	Nordroute über Furtweg	Südroute über Landshuter Straße	
Betriebliche Randbedingungen E-Shuttle			
Beschaffenheit des Weges, Straßenführung	teilweise sehr eng, schlechte Straßenoberfläche, landwirtschaftliche Wege	gut ausgebaut, Hauptstraßen, z.T. außerorts	gut ausgebaut, innerorts
Konfliktpotential (Geschwindigkeitsdifferenz mIV/ Verkehrssicherheit, Randbedingungen Zulassung)	gering, überwiegend 30km/h	hoch stark befahren, große Geschwindigkeitsdifferenzen ggf. größere Hürden für eine Zulassung	gering, überwiegend 30km/h
Hindernisse (physisch, praktisch)	Begegnungsverkehre mit landwirtschaftlichen Fahrzeugen, parkende Fahrzeuge am Straßenrand	mittel (Parkende Fahrzeuge am Straßenrand)	mittel (Parkende Fahrzeuge am Straßenrand)
Aufwand Infrastruktur	hoch (aufgrund großer Streckenlänge)	hoch (aufgrund großer Streckenlänge)	gering
Randbedingungen ÖV-Betrieb allgemein			
Fahrtdauer	33 Minuten (Variante a) 31 Minuten (Variante b)	23 Minuten (Variante a) 31 Minuten (Variante b)	13 Minuten (inkl. Erschließung „Am Weiher“)
Weglänge	11,0 km (Variante a) 10,5 km (Variante b)	7,7 km (Variante a) 10,4 km (Variante b)	3,8 km (inkl. Erschließung „Am Weiher“)
Vergleich mit dem bestehenden/geplanten ÖV-Angebot			
Fahrtdauer E-Shuttle (Hin- und Rückfahrt)	33 / 31 Minuten	23 / 31 Minuten	12 Minuten
Fahrtdauer Bus (Hin- und Rückfahrt)	17 Minuten	17 Minuten	8 Minuten (bis Haltestelle Landshuter Straße)
Nutzerpotenzial			
Erschlossene Einwohnerzahl	gering	gering	hoch
weitere Flächenerschließung	mittel, Gebiet kann durch zusätzliche Haltestellen (Unterschleißheimer See, Kleingartenanlage) weiter erschlossen werden	gering, keine zusätzlichen Haltestellen gegenüber Buslinie 299	hoch, Gebiet kann durch zusätzliche Haltestelle (Fastlingerring) weiter erschlossen werden

Tabelle 4 Streckenvergleich Riedmoos und Siedlung „Am Weiher“

Nach der Analyse der beiden möglichen Erschließungsgebiete Riedmoos und Siedlung „Am Weiher“ sowie der Präsentation und Diskussion der Ergebnisse im Umwelt- und Verkehrsausschuss (UVA) der Stadt Unterschleißheim, wurde am 30.06.2020 beschlossen, die Erschließung des Business Campus sowie die Erschließung der Siedlung „Am Weiher“ im Rahmen der Machbarkeitsuntersuchung für ein Pilotprojekt näher zu prüfen.

3.3 Detaillierte Routenuntersuchung

Die geplanten und vorliegend vertieft zu untersuchenden Streckenverläufe der beiden zur Umsetzung ausgewählten Routen sind in Abbildung 17 dargestellt.



Abbildung 17 Routenführungen Siedlung „Am Weiher“ (grün) und zum Business Campus (blau) (Quelle Hintergrundkarte: Stadt Unterschleißheim)

Die blaue Route beschreibt die Strecke vom Bushaltestelle „USH West“ an der S-Bahn-Strecke zum Business Campus und zurück. Diese Route ist 2,1 km lang. Bei diesem Rundkurs sind drei Haltestellen auf dem Campus, der sich noch im Bau befindet, angedacht.

Die grüne Strecke startet wie die andere Route an der Bushaltestelle „USH West“. Nach Abstimmung mit der Stadt Unterschleißheim wird die Haltestelle Bergstraße nicht weiterverfolgt. Die berücksichtigte Route führt auf einer Länge von 3,2 km über zwei Haltestellen zum Zielort „Am Weiher“.

In folgender Tabelle 5 wird anhand folgender Aspekte zusammengestellt unter welchen Bedingungen die Strecken für den Betrieb mit autonomen Shuttles geeignet sind:

- Routenführung
- Fahrbahnoberfläche
- Fahrbahnbreite
- Durchfahrtshöhe/ Belastbarkeit
- Fahrbahnneigung / Wenderadius
- Markierungen
- Verkehrszeichen/Geschwindigkeitsdifferenzen
- Verkehrsregelung
- LSA
- Haltestellen
- Ladevorgang
- Umfeldbedingungen
- Vandalismus
- Netzadeckung/Lokalisierung/Spurführung
- Infrastruktursensorik

Aspekt	Route 1 Siedlung „Am Weiher“ (blau)	Route 2 „Business Campus“ (grün)
<i>Routenführung</i>	In der „Pegasusstraße“ darf am Straßenrand geparkt werden und die Ausfahrt am Ende bedarf eines Rechtsabbiegens. Dort ist jedoch für den Gegenverkehr eine LSA installiert, damit bei einer roten Ampelphase ein Einfahren vor diesen möglich ist. Der „Münchner Ring“ ist eine viel befahrene Straße, wodurch es zu vielen Interaktionen mit anderen Verkehrsteilnehmern kommt. Rund 0,7 km müssen auf dieser Straße gefahren werden, bis das Campus-Gelände erreicht wird. Auf diesem Teilstück sind auch zwei Verkehrsinseln vorzufinden. Die großen Kreuzungsbereiche sind über LSA geregelt, stellenweise ist mit am rechten Straßenrand parkenden Fahrzeugen zu rechnen. Außerdem kreuzen an der ersten LSA Fußgänger als bedingt verstäglicher Verkehrsstrom. Auf dem Campus-Gelände muss mit erhöhtem Fußgängerverkehr auf der Fahrbahn gerechnet werden. Schulen oder andere Einrichtungen sind auf der Strecke nicht zu finden. Für den ersten Abschnitt siehe auch Route 2.	In der „Pegasusstraße“ zu Beginn der Route befinden sich auf der linken Fahrbahnseite parkende Fahrzeuge, auf der rechten Seite befindet sich die Ausfahrt des P+R-Parkplatzes. Beim folgenden Rechtsabbiegen ist eine gute Sicht möglich. Die Kreuzung mit dem „Münchner Ring“ wird über LSA geregelt und es muss auf bedingt verträgliche Fußgänger und Gegenverkehr geachtet werden. Im folgenden Abschnitt des „Münchner Ring“ befinden sich parkende Fahrzeuge am Straßenrand. Beim Rechtsabbiegen in die „Hauptstraße“ muss mit parallelfahrenden Radfahrern gerechnet werden, die Sicht ist jedoch gut und es ist kein Bewuchs vorhanden. Die Radfahrer bewegen sich vor dem Abbiegen auf einer markierten Fläche auf der Fahrbahn, im Kurvenbereich ist diese Trennung bzw. Markierung jedoch nicht mehr vorhanden und Radfahrer fahren auf der Fahrbahn weiter. Dies kann zu unübersichtlichen Situationen führen. Nach Einfahrt in die „Hauptstraße“ befinden sich eine Verkehrsinsel für Fußgänger und ein Kindergarten. Auf dem folgenden Abschnitt ist mit zahlreichen rechts parkenden und einbiegenden Fahrzeugen aus den Grundstücksausfahrten zu rechnen. Außerdem ist aufgrund der beengten Straßenverhältnisse ein Ausweichen bei Gegenverkehr nötig. Beim Linksabbiegen in den „Furtweg“ muss der Gegenverkehr erkannt werden. Kurz vor dem Abbiegen befindet sich außerdem eine Fußgängerschutzanlage (FSA). Auch hier sind zahlreiche parkende Fahrzeuge am Straßenrand. Der „Furtweg“ kreuzt die „Landshuter Straße“ mit einer LSA, hier sind keine größeren Schwierigkeiten zu erwarten, sofern eine RSU installiert ist. Auf der restlichen Strecke sind zahlreiche parkende Fahrzeuge vorzufinden, ebenso ist bei beengten Verhältnissen ein Ausweichen bei Gegenverkehr notwendig. Am Ende der Route befindet sich ein weiterer Kindergarten.
<i>Fahrbahn-oberfläche</i>	Die Fahrbahnoberfläche auf dem „Münchner Ring“ ist gut und die Asphaltdecke neueren Datums. Markierungen sind entsprechend gut zu erkennen. Die Griffbarkeit der Fahrbahn sollte ausreichend sein. Bei Regenereignissen ist der Wasserablauf durch vorhandene Einläufe gewährleistet.	Der erste Teil der Strecke entspricht dem Verlauf der Route Siedlung „Am Weiher“ (siehe nebenstehende Beschreibung). Die Fahrbahnoberfläche auf den Straßen „Hauptstraße“ und „Furtweg“ sind in Ordnung, stellenweise wurden bereits Ausbesserungen vorgenommen. Bei Regen bleibt dieser teilweise auf der Fahrbahn, was zu Spiegelungen und Fehlern bei der Detektion führen kann.

Tabelle 5 Randbedingungen für den Einsatz autonomer Shuttles auf den vorgesehenen Routen in Unterschleißheim

Aspekt	Route 1 Siedlung „Am Weiher“ (blau)	Route 2 „Business Campus“ (grün)
Fahrbahnbreite	Die Straßenbreite des „Münchner Rings“ entspricht den Regelquerschnitten im Straßenbau. Aufgrund der derzeitigen Bautätigkeiten auf dem Campus-Gelände ist die Breite noch nicht ersichtlich. Es ist jedoch von einer ausreichenden Straßenbreite auszugehen.	Die Fahrbahnbreite des „Münchner Rings“ ist ausreichend. Auf den anderen Straßen der Strecke ist diese jedoch kritisch einzuschätzen. Da kein Passieren von entgegenkommenden Fahrzeugen möglich ist, muss ausgewichen werden. Dieser Vorgang kann dem aktuellen Stand der Technik der Shuttles nicht zuverlässig automatisiert durchgeführt werden. Auch die in diesen Straßen am Straßenrand parkenden Fahrzeuge stellen eine Herausforderung dar. Es sollte geprüft werden, ob andere Anwohnerparkplätze gefunden werden können, sodass keine Einschränkungen der Fahrstreifenbreiten erfolgen. Lichtsignalanlagen zur wechselseitigen Freigabe der Fahrtrichtung werden sind Kostengründen nicht anzustreben. Das Vorsehen einer Einbahnregelung zur Vermeidung dieser Problematik ist aufgrund fehlender Alternativstrecken nicht möglich.
Durchfahrts- höhe/ Belastbarkeit	Es werden weder Brücken noch Tunnel befahren. Im Bereich von LSA und Bäumen entlang der Strecke ist von einem ausreichendem Straßenraumprofil auszugehen.	Siehe Route 1.
Fahrbahnneigung / Wenderradius	Die Fahrbahnneigung ist sehr gering und wird als nicht kritisch eingeschätzt. Wendemöglichkeiten sind sowohl am Campus bzw. an der S-Bahnstation vorhanden bzw. wird ein Rundkurs gefahren. Die Anfahrt zur Anfangshaltestelle sollte über die „Siriusstraße“ erfolgen, da ein Wenden in der „Pegasusstraße“ nicht möglich ist.	Die Fahrbahnneigung ist sehr gering und wird als nicht kritisch eingeschätzt. Die Einrichtung einer Wendemöglichkeit im Bereich der Endhaltestelle „Am Weiher“ wurde durch die Stadt Unterschleißheim geprüft und es konnten zwei Alternativen identifiziert werden. Die Anfahrt zur Anfangshaltestelle sollte über die „Siriusstraße“ erfolgen, da ein Wenden in der „Pegasusstraße“ nicht möglich ist.
Markierungen	Die Fahrbahnmarkierungen sind auf dem „Münchner Ring“ sehr gut erkennbar, auf dem Campus-Gelände sind die Fahrbahnoberflächen aufgrund der Bautätigkeiten noch nicht final vorhanden. Eine Lokalisierung anhand dieser ist deshalb gut möglich. Auf dem „Münchner Ring“ wird der Radweg abschnittsweise durch Markierungen gekennzeichnet, jedoch nicht durchgängig auf der kompletten Strecke. Außerdem fehlen stellenweise Markierungen, beispielsweise im Bereich der Bushaltestelle.	Die Markierungen sind auf dem „Münchner Ring“ sehr gut ersichtlich, auf allen anderen geplanten Straßen sind diese teilweise nicht vorhanden. Für die Orientierung eines autonomen Fahrzeugs ist dies nicht ausreichend.
Verkehrszeichen/ Geschwindigkeitsdifferenzen	Die Geschwindigkeitsbegrenzungen sind in Abbildung 17 erfasst. Auf dem „Münchner Ring“ liegt diese bei 50 km/h, auf dem Gebiet des Campus ist davon auszugehen, dass eine geringere Geschwindigkeit gefahren werden. Somit ist die Geschwindigkeitsdifferenz zu anderen Verkehrsteilnehmern, unter der Annahme, dass die Shuttle mit ca. 20 km/h fahren werden, nicht als kritisch einzuschätzen. Verkehrszeichen sind momentan nur am Ring vorzufinden. Dynamische Geschwindigkeitsbegrenzungen sind somit nicht notwendig. Ein Hinweisschild, auf dem auf den autonomen Shuttle verwiesen wird, sollte dennoch montiert werden.	Auf dem „Münchner Ring“ ist eine Geschwindigkeitsbegrenzungen von 50 km/h vorgeschrieben, alle anderen Abschnitte sind auf 30 km/h beschränkt. Die zu erwartenden Geschwindigkeitsdifferenzen sind entsprechend gering. Auf den anderen Straßen sind weitere Verkehrsschilder vorhanden, die auf einen Kindergarten oder auf Parkverbote hinweisen. Zusätzliche Hinweisschilder auf den Betrieb des autonomen Busses sind auch hier sinnvoll.

Tabelle 5 Randbedingungen für den Einsatz autonomer Shuttles auf den vorgesehenen Routen in Unterschleißheim (Fortsetzung)

Aspekt	Route 1 Siedlung „Am Weiher“ (blau)	Route 2 „Business Campus“ (grün)
Verkehrs- regelung	Die gesamte Route kann in beiden Fahrtrichtungen befahren werden, eine Einbahnstraße ist nicht enthalten. Beim Befahren des „Münchner Rings“ ist aufgrund der zahlreichen Abbiegemöglichkeiten auf das richtige Einordnen zu achten. In der „Pegasusstraße“ erscheint eine Einbahnregelung sinnvoll, da ein Wenden an der Anfangshaltestelle nicht möglich ist.	Die gesamte Route kann in beiden Fahrtrichtungen befahren werden, eine Einbahnstraße ist nicht enthalten. Auf allen Straßen bis auf dem „Münchner Ring“ muss aufgrund der durch parkende Fahrzeuge am Straßenrand eingeschränkten nutzbaren Fahrreite mit Gegenverkehr gerechnet werden, der Ausweichmanöver hervorruft.
LSA	Das Shuttle passiert zwei LSA (Knotenpunkte Im Klosterfeld / Münchner Ring und Münchner Ring / Landshuter Straße). Hier sollte jeweils eine RSU zur Kommunikation installiert werden. Außerdem muss auf bedingt verträglichen Verkehr geachtet werden, möglicherweise kann eine separate Signalphase für das Shuttle eingerichtet werden.	Ebenso wie bei Route 1 kreuzt das Fahrzeug zwei LSA (Knotenpunkte Im Klosterfeld / Münchner Ring und Furtweg / Landshuter Straße, siehe Abbildung 17). Eine Installation von RSU muss hier aus Sicherheitsgründen dringend vorgenommen werden. Außerdem muss auf bedingt verträglichen Verkehr geachtet werden, möglicherweise kann eine separate Signalphase für das Shuttle eingerichtet werden.
Haltestellen	Neben „USH West“ werden drei weitere Stationen auf dem Campus angefahren. Im Bebauungsplan des Business Campus sind entsprechende Haltestellen bereits vorgesehen. Diese sollten am Straßenrand in Form einer Busbucht ausgeführt werden.	Es sollen neben der Startstation „USH West“ zwei weitere Haltestellen „Ludwig-Thoma-Straße“ und „Am Weiher“ angefahren werden. Die Haltestellen sollten aufgrund der engen Straßenverhältnisse am Fahrbahnrand oder als Haltestellenkap bei einer Einbahnregelung angeordnet werden.
Ladevorgang	Die notwendige Ladestation sollte in einem entsprechend geschützten Bereich (Garage) vorgesehen werden, in dem das Fahrzeug über Nacht abgestellt und geladen werden kann. Ein automatisierter Ladevorgang ist momentan von Fahrzeugseite noch nicht möglich. Ein derartiges Depot könnte an einem der beiden Endpunkte der Route vorgesehen werden.	Die Endhaltestelle befindet sich in einer Wohngegend. Ein Depot mit Lademöglichkeit sollte daher eher am Startpunkt „USH West“ vorgesehen werden. Es ist davon auszugehen, dass eine Stromversorgung dort realisierbar ist. Siehe auch Route 1.
Umfeldbedingungen	Die Fahrt beginnt in der „Pegasusstraße“, anschließend werden wenige Meter auf der Straße „Im Klosterfeld“ zurückgelegt, bevor auf den „Münchner Ring“ eingebogen wird. An den beiden ersten Abschnitten sind zwar zahlreiche Bäume und Bepflanzungen, eine Pflege sollte jedoch gut möglich sein. Entlang des „Münchner Rings“ und im Campus-Gelände ist wenig Bewuchs vorhanden. Bei Schneefall kann eine zügige Räumung gewährleistet werden.	Ein Bewuchs ist nur selten vorhanden und stellt dementsprechend keine Einschränkung dar. Lediglich die auf der rechten Seite der „Pegasusstraße“ befindliche Zufahrt zum P+R-Parkplatz ist die Einsehbarkeit durch Bewuchs eingeschränkt. Hier müsste eventuell ein Beschnitt vorgenommen werden.
Vandalismus	An welcher Stelle sich das Depot zum Schutz des Fahrzeugs sowie für das Aufladen über Nacht befinden soll, ist noch offen. Es sollte sich jedoch in der Nähe der Strecke befinden, da sich der Shuttle nur dort autonom bewegen darf, ansonsten wäre ein manuelles Fahren notwendig. Die Infrastruktursensorik kann in ausreichender Höhe montiert werden, um vor einer Zerstörung geschützt zu sein. Mit Sichtabschattungen durch Bäume ist teilweise zu rechnen.	Auch hier sollte, wie bei Route 1, das Depot direkt an der Strecke liegen. Da die Endhaltestelle in einer Wohngegend liegt, sollte sich das Depot eher am Startpunkt „USH West“ befinden. Dort wäre auch die Stromversorgung einfacher zu realisieren. Die Installation einer möglichen Infrastruktursensorik in ausreichender Höhe sollte gegen Vandalismus möglich sein. Allerdings ist vor allem auf den untergeordneten Straßen mit Sichtbehinderungen durch Bäume zu rechnen.

Tabelle 5 Randbedingungen für den Einsatz autonomer Shuttles auf den vorgesehenen Routen in Unterschleißheim (Fortsetzung)

Aspekt	Route 1 Siedlung „Am Weiher“ (blau)	Route 2 „Business Campus“ (grün)
Netzabdeckung/ Lokalisierung/ Spurführung	Da sich das Gebiet im suburbanen Raum befindet, sollte eine ausreichende Netzabdeckung vorhanden sein. Dies bestätigen auch Breitbandmessungen, die auf der Strecke eine 4G-Abdeckung zeigen. Eine 3D-Lokalisierung mittels Lidar-Technik ist auch gut möglich, da sich markante Fläche wie Gebäude und Mauern am Straßenrand befinden. Da die Länge der Strecke überschaubar ist, wäre auch ein Aufbau eines eigenen Wifi- oder 5G-Netzes denkbar. Dadurch könnten auch weitere Features wie priorisierte Nachrichtenübermittlung getestet werden. Anwohner sollten über solche Maßnahmen jedoch informiert werden. Ein Einbau von Magnetspulen zur Ortung wäre möglich, allerdings ist dadurch ein größerer Eingriff in die Straßenoberfläche notwendig, was aufgrund der erst kürzlich fertiggestellten Fahrbahnoberfläche auf dem „Münchner Ring“ nicht zu befürworten ist. Möglich wäre es, allerdings sind andere Technologien hier vorzuziehen. Da sich das Gebiet ausschließlich in bebauter Umgebung befindet, sind keine Schutzzäune für Wildwechsel zu installieren.	Die Netzabdeckung ist wie bei Route 1 sehr gut, bei der angedachten Wendeschleife auf dem „Fastlingerring“ ist jedoch nur 2G-Empfang möglich. Die Lokalisierung ist wie in Route 1 gut mit Lidar-Sensoren möglich, da es zahlreiche markante Stellen gibt. Eine Installation von Magnetstreifen macht weniger Sinn, da keine abgetrennten Straßen vorzufinden sind. Wildzäune sind darüber hinaus auch nicht nötig. Genaueres siehe auch Route 1.
Infrastruktursensorik	Auf der gesamten Strecke befinden sich Lichtmasten, woran eine Installation von straßengebundener Sensorik erfolgen und auch mit Strom versorgt werden kann. Nur in der „Pegasusstraße“ sind keine Masten vorhanden, außerdem wäre eine Montage von Sensorik aufgrund der Abschattungen durch die Bäume nicht möglich. Kostenintensive Umbauten sind dadurch nicht notwendig. Neben den RSUs an der LSA würde hier möglicherweise die Installation von Sensorik für das Rechtsabbiegen aus der „Pegasusstraße“ eine höhere Performance bringen, ebenso wie bei der Rückfahrt beim Linksabbiegen an dieser Stelle. Weitere Ausstattungen wären auch noch möglich an der Stelle mit den parkenden Fahrzeugen am „Münchner Ring“, da dort mit höheren Geschwindigkeiten gefahren wird.	RSUs sollten an den LSA und der FSA installiert werden, um eine sichere I2V-Kommunikation zu ermöglichen. Beim Rechtsabbiegen auf die „Im Klosterfeld“ Straße könnten Sensorik sinnvoll sein, noch mehr jedoch beim anschließenden Rechtsabbiegen in die „Hauptstraße“. Da hier von hinten kommende Radfahrer zu erwarten sind, würde sich hier ein erweitertes Blickfeld anbieten. Das gleiche gilt für das anschließende Linksabbiegen auf den „Furtweg“. In der Siedlung „Am Weiher“ würde Sensorik aufgrund der zahlreichen parkenden Fahrzeuge Sinn machen, um jedoch eine komplette Abdeckung zu erreichen, müssten unzählige Sensoren installiert werden.

Tabelle 5 **Randbedingungen für den Einsatz autonomer Shuttles auf den vorgesehenen Routen in Unterschleißheim (Fortsetzung)**

4 Analyse von Nutzergruppen und Potenzialabschätzung

Zur Einordnung der Möglichkeiten eines autonomen Shuttles in Unterschleißheim ist eine Betrachtung möglicher Nutzergruppen für die vorgesehenen Anwendungsfälle notwendig. Hierzu wurden Nutzerbefragungen durchgeführt (Kapitel 4.1). In welchem Umfang diese Nutzergruppen das neue Mobilitätsangebot nutzen würden und welche Akzeptanz damit hervorgerufen werden kann wird in den Kapiteln 4.2 und 4.3 dargelegt.

4.1 Definition von Nutzergruppen und Nutzerbefragung

Für die Abschätzung des Nutzungspotenzials bedarf es nach der räumlichen Analyse des Erschließungsgebiets auch einer Analyse des Bedarfs und der Bereitschaft potenzieller Nutzer an der tatsächlichen Nutzung eines neuen Mobilitätsangebots. Zu diesem Zweck wurde in den Erschließungsgebieten Business Campus und Siedlung „Am Weiher“, Befragungen der jeweiligen Nutzergruppen durchgeführt. Als potenzielle Nutzer des E-Shuttle im Erschließungsgebiet „Am Weiher“ werden alle Bewohner der Siedlung angesehen. Im Erschließungsgebiet Business Campus stellen die potenziellen Nutzer die Mitarbeiter und Kunden der dort ansässigen Unternehmen dar.

Insgesamt wurden drei Befragungen durchgeführt. In der Siedlung „Am Weiher“ wurde aller Haushalte der Siedlung mit einer Haushaltsbefragung adressiert. Im Business Campus wurden zum einen die Unternehmen selbst und zum anderen die Mitarbeiter der Unternehmen befragt.

4.1.1 Haushaltsbefragung Siedlung „Am Weiher“

Als wesentliche Datengrundlage für die Abschätzung des Nutzerpotenzials im Erschließungsgebiet wurde zwischen Mitte Juli und Mitte August 2020 eine Haushaltsbefragung zum Verkehrsverhalten der Einwohner der Siedlung „Am Weiher“ durchgeführt. Im Gegensatz zu einer klassischen Haushaltsbefragung wurde hier jedoch nicht das Mobilitätsverhalten sowie der Mobilitätsbedarf der Einwohner im Allgemeinen abgefragt, sondern nur in Bezug auf die Strecke zwischen der Siedlung und dem S-Bahnhof Unterschleißheim.

Die Untersuchung wurde als kombinierte Befragung von Haushalten und Personen angelegt. Zielperson der Haushaltsbefragung war der Haushaltsvorstand. Die Personenbefragung richtete sich an alle Haushaltsmitglieder ab 6 Jahren. Die Befragung wurde mittels eines Online-Fragebogens durchgeführt, wobei vom Haushaltsvorstand Fragen zum Haushalt und von allen Haushaltsmitgliedern ab 6 Jahren Fragen zu ihren Wegen an einem durchschnittlichen Werktag, Samstag sowie Sonntag zwischen der Siedlung „Am Weiher“ und dem S-Bahnhof Unterschleißheim

zu beantworten waren. Zudem wurde darum gebeten, sich bei den Angaben auf das Mobilitätsverhalten vor der Corona-Pandemie zu beziehen. Neben den Wegeangaben wurden auch weitere Daten zu den befragten Personen erfasst. Im Anschluss an die klassischen Fragen einer Haushaltsbefragung wurden die Haushalte allgemein zum Thema E-Mobilität und autonomes Fahren befragt.

Die Inhalte des Fragebogens wurden intensiv mit dem Auftraggeber diskutiert und mit den konkreten Anforderungen des Pilotprojekts abgestimmt. Die Stadt Unterschleißheim hat die Einladung zur Teilnahme an der Online-Haushaltsbefragung postalisch an alle 1.552 Haushalte der Siedlung „Am Weiher“ versendet. In einem zweiten Anschreiben wurden die Anwohner nochmals an die Haushaltsbefragung erinnert und um ihre Teilnahme gebeten.

Personen, denen es aus technischen oder anderen Gründen nicht möglich war an der Online-Haushaltsbefragung teilzunehmen, wurde angeboten, diesen in den Räumen der Stadtverwaltung an einem Computer auszufüllen.

Befragungsinhalte

Die Haushaltsbefragung wurde in drei Fragenkomplexe unterteilt. Zunächst waren allgemeine Fragen zum Haushalt zu beantworten, daran anschließenden wurden personenspezifische Fragen zum Mobilitätsverhalten und Mobilitätsbedarf bezogen auf die Strecke zwischen der Siedlung „Am Weiher“ und dem S-Bahnhof Unterschleißheim gestellt und abschließend wurde mittels allgemeiner Fragen zum Thema Elektromobilität und autonomes Fahren die Einstellung der Haushalte zu diesem Thema erfasst. Tabelle 6 stellt die Befragungsinhalte in Übersicht dar. Der komplette Haushaltsfragebogen ist in Anlage 1 beigefügt.

Haushaltsbezogene Fragen	Personenbezogene Fragen	Allgemeine Fragen zu Elektromobilität und zum autonomen Fahren
- Anzahl der ständig im Haushalt lebenden Personen - Alter der Personen ab 6 Jahren - Fahrzeugausstattung des Haushalts	- Pkw-Führerscheinbesitz - Besitz einer ÖPNV-Zeitkarte - Verkehrsmittelwahl an einem durchschnittlichen Werktag - Alter sowie Berufstätigkeit bzw. Ausbildungs- und Berufsstatus der im Haushalt lebenden Personen ab 6 Jahren - Anzahl der Wege zwischen der Wohnung und dem S-Bahnhof Unterschleißheim sowie das jeweils genutzte Verkehrsmittel - Startzeiten für die Wege zwischen der Wohnung und dem S-Bahnhof Unterschleißheim	- Wichtige Aspekte bei der Verkehrsmittelwahl - Kenntnis autonomer Busse - Assoziation mit autonomen Bussen - Bewertung autonomer Busse - Notwendige Voraussetzungen zur Nutzung autonomer Busse - Individuelle Anmerkungen

Tabelle 6 Übersicht der Befragungsinhalte der Haushaltsbefragung

Rücklauf und Datenaufbereitung

Die computergestützt erfassten Daten lagen nach Abschluss der Erhebung als unbereinigter Rohdatensatz vor und wurden anschließend einer Plausibilisierung unterzogen. Nach der Plausibilisierung konnten in der Auswertung 354 Haushaltsfragebögen mit insgesamt 824 Personen berücksichtigt werden. Die Rücklaufquote liegt bei 23 % der Haushalte und 32 % der Personen.

Die Befragungsdatensätze wurden anschließend mit statistischen Methoden ausgewertet. Das angewendete Gewichtungs- und Hochrechnungsverfahren bestand dabei im Wesentlichen aus der Anpassung der Rückmeldungen an die jeweiligen Verteilungen (Gewichtung) und den Umfang (Hochrechnung) der Grundgesamtheit, d.h. an die Wohnbevölkerung des Untersuchungsraums. Die bereinigten und gewichteten Erhebungsdaten wurden ausgewertet und liefern so ein detailliertes und verlässliches Bild des Mobilitätsverhaltens und des Mobilitätsbedarfs in Bezug auf die Strecke zwischen der Siedlung „Am Weiher“ und dem S-Bahnhof Unterschleißheim. Zudem konnte ein Meinungsbild der Befragten zum Thema autonomes Fahren und E-Mobilität gezeichnet werden.

Ergebnisse der personenbezogenen Fragen für einen durchschnittlichen Werktag

Die anhand der Wege-Fragen ermittelten Ergebnisse zeigen, dass an einem durchschnittlichen Werktag 40,3 % (1.031 Personen) 3.203 Wege zwischen der Siedlung „Am Weiher“ und dem S-Bahnhof Unterschleißheim haben. Nahezu die Hälfte der Wege (46 %) werden mit dem Fahrrad bewältigt und mehr als ein Viertel (27 %) der Weg erfolgen zu Fuß. Die öffentlichen Verkehrsmittel werden bisher nur bei 8 % der Wege verwendet. (siehe Abbildung 18)

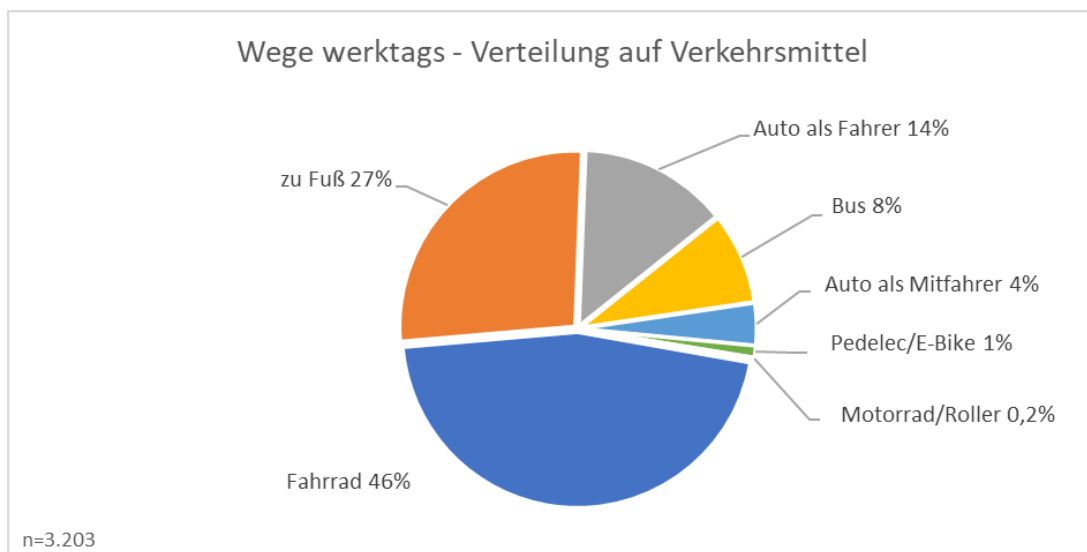


Abbildung 18 Verteilung der Wege werktags auf die genutzten Verkehrsmittel

Ergebnisse der personenbezogenen Fragen für einen durchschnittlichen Samstag

An einem durchschnittlichen Samstag haben 19,6 % (501 Personen) der Bewohner 1.151 Wege zwischen der Siedlung „Am Weiher“ und dem S-Bahnhof Unterschleißheim. Davon werden 34 % der Wege zu Fuß bewältigt, 31 % nutzen das Fahrrad und 28 % das Auto als Fahrer oder Mitfahrer. Die öffentlichen Verkehrsmittel werden samstags nur bei 4 % der Wege verwendet. (siehe Abbildung 19)

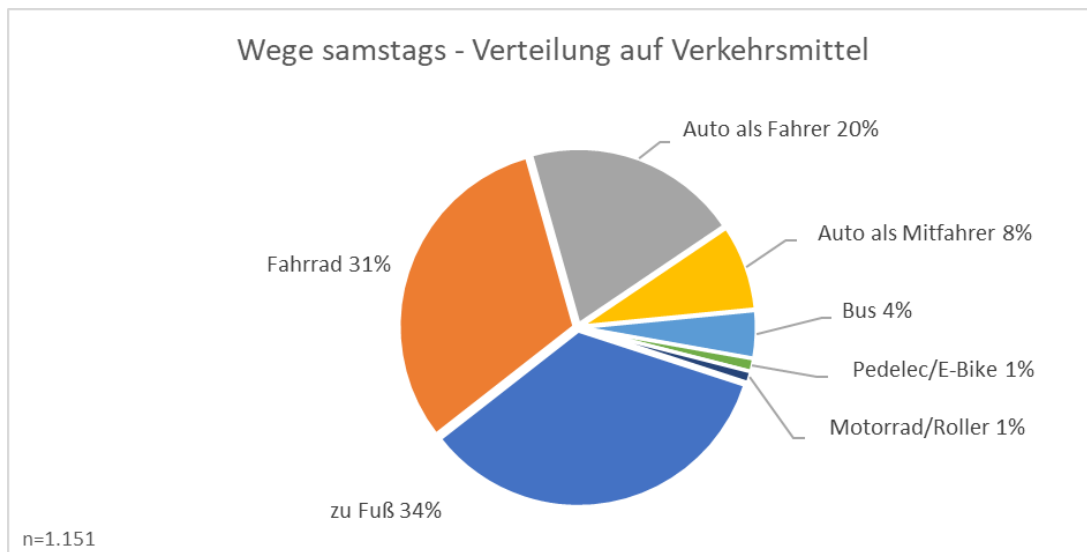


Abbildung 19 **Verteilung der Wege samstags auf die genutzten Verkehrsmittel**

Ergebnisse der personenbezogenen Fragen für einen durchschnittlichen Sonntag

An einem durchschnittlichen Sonntag haben 7,3 % (187 Personen) Bewohner 322 Wege zwischen der Siedlung „Am Weiher“ und dem S-Bahnhof Unterschleißheim. Davon werden knapp die Hälfte der Wege (47 %) zu Fuß bewältigt, 24 % nutzen das Fahrrad und 25 % das Auto als Fahrer oder Mitfahrer. Die öffentlichen Verkehrsmittel werden samstags nur bei 5 % der Wege verwendet. (siehe Abbildung 20)

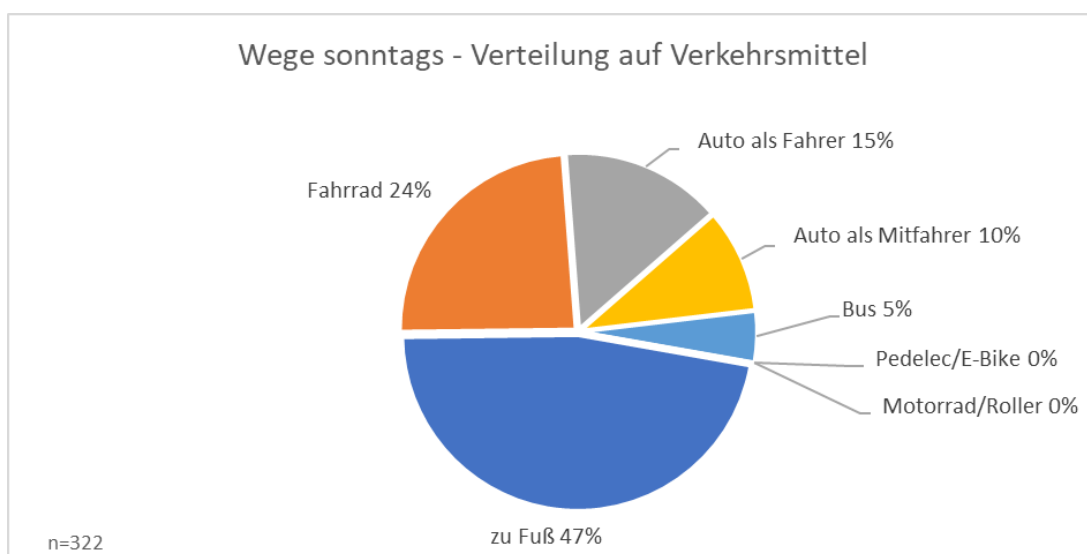


Abbildung 20 Verteilung der Wege sonntags auf die genutzten Verkehrsmittel

Ergebnisse der allgemeinen Fragen zum Thema Elektromobilität und autonomes Fahren

Nachdem im ersten Teil der Haushaltsbefragung das aktuelle Verkehrsverhalten ermittelt wurde und dies eine wichtige Basis zur Ermittlung des potenziellen Bedarfs darstellt (siehe Kapitel 4.2), bestand der zweite Teil aus allgemeinen Fragen zum Thema Elektromobilität und autonomen Fahren. Ziel war es, einen Eindruck über die Meinung der Bewohner zum Thema autonomes Fahren sowie deren Nutzungsbereitschaft zu erhalten.

Einleitend wurde ein Bild eines autonomen Busses (vgl. Kapitel 2.1) dargestellt und es sollte die Frage beantwortet werden, ob man einen autonomen Bus schon einmal gesehen habe. Mit 52 % hat die Mehrheit der teilnehmenden Haushalte angegeben, so einen Bus bereits gesehen zu haben. Dabei haben 40 % ihn in den Medien gesehen, 7 % haben ihn bereits in natura gesehen und 5 % sind bereits mit einem autonomen Bus gefahren. Demgegenüber haben 44 % angegeben, so einen Bus noch nie gesehen zu haben. (siehe Abbildung 21)

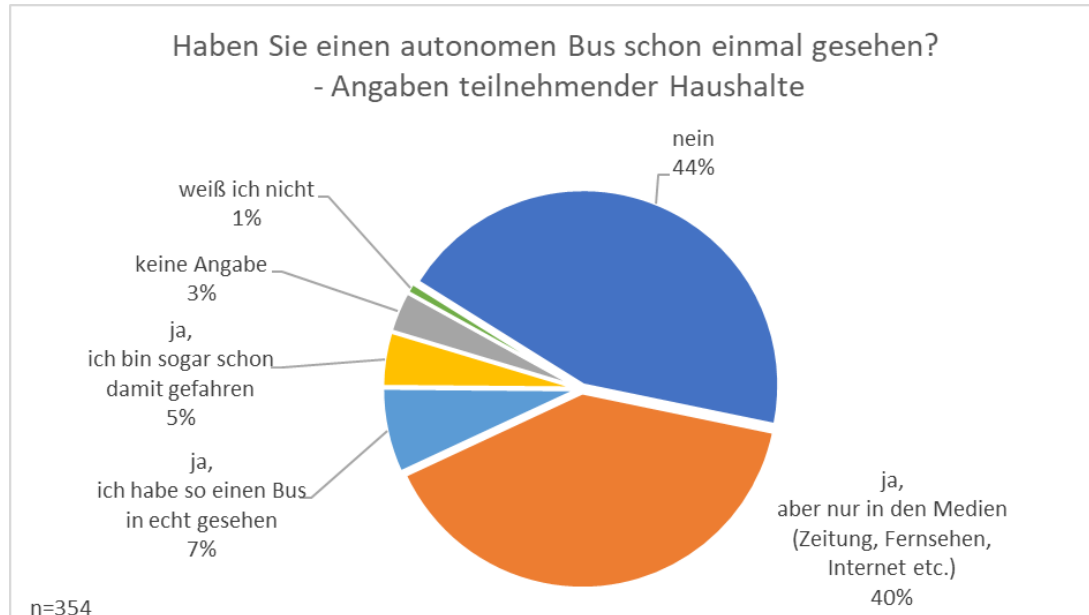


Abbildung 21 Kenntnis autonomer Busse

Daran anschließend wurden die Haushalte mittels vorgegebener Auswahlmöglichkeiten zu Assoziationen mit autonomen Bussen befragt. Mit 68 % verbinden die Haushalte am häufigsten den Begriff „Zukunft“ mit autonomen Bussen, dicht gefolgt von dem Begriff „Innovation“ mit 66 %. Die wenigsten Haushalte haben negative Assoziationen mit autonomen Bussen. Nur 3 % der Haushalte haben den Begriff „Abneigung“ gewählt und 1 % sind der Ansicht, autonome Busse würden Arbeitsplätze gefährden. (siehe Abbildung 22)

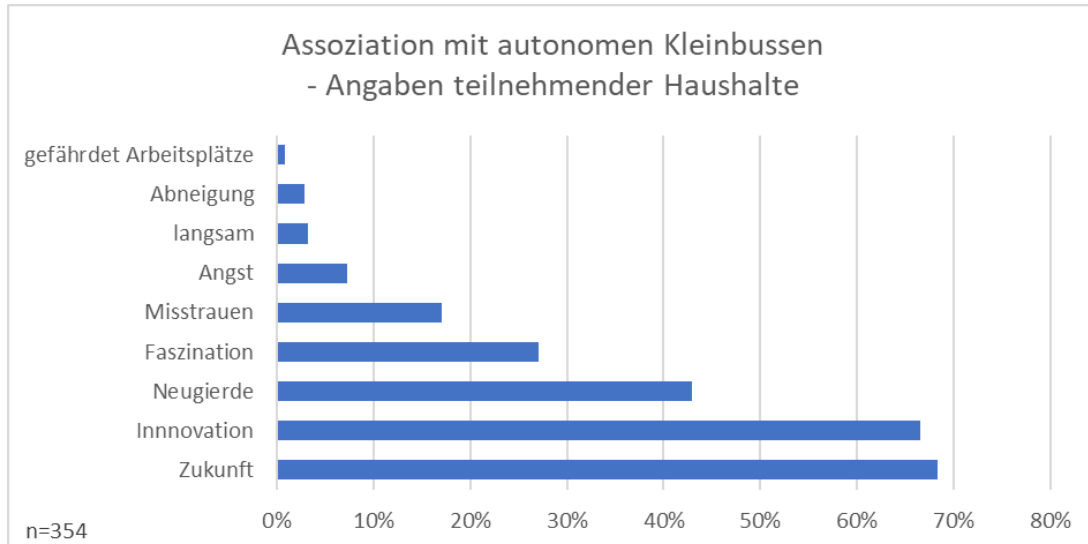


Abbildung 22 Assoziationen mit autonomen Bussen

Als nächste Fragestellung wurden verschiedenen Aussagen zu autonomen Bussen dargestellt mit der Aufforderung anzugeben, inwieweit die Haushalte diesen zustimmen bzw. inwieweit sie diese ablehnen. Die kumulative Auswertung der Zustimmung bzw. Ablehnung zeigt, dass die überwiegende Mehrheit der Haushalte autonome Busse positiv bewertet. Davon sind 89 % der Ansicht, dass autonome Busse eine innovative Möglichkeit sind, das ÖV-Angebot zu erweitern und 85 % finden, dass diese die Nutzung des ÖV fördern werden. Etwas mehr als die Hälfte (63 %) der Haushalte ist aber auch der Meinung, dass autonome Busse noch nicht ausgereift sind und 40 % können sich vorstellen, dass eine Gefahr besteht, dass autonome Busse gehackt werden könnten. Eine allgemeine Bereitschaft einen autonomen Bus zu nutzen, besteht bei 88 % der Haushalte. Ebenso würden 79 % der Haushalte auch ihren Kindern im Grundschulalter erlauben, einen autonomen Bus für den Schulweg zu nutzen. Mit 82 % ist eine ebenfalls hohe Mehrheit der Haushalte der Auffassung, dass durch eine Erschließung der Siedlung „Am Weiher“ mit einer autonomen Buslinie das Wohngebiet aufgewertet wird. Eine ebenfalls positive Einstellung zu autonomen Bussen zeigt die Tatsache, dass 65 % der Haushalte keine Unsicherheit bei dem Gedanken verspüren, einen autonomen Bus zusammen mit Fremden und ohne Fahrpersonal zu nutzen. Die Einrichtung einer autonomen Buslinie zwischen der Siedlung „Am Weiher“ und dem S-Bahnhof Unterschleißheim erachten 83 % der Haushalte im Allgemeinen für sinnvoll und nur 17 % halten dies für nicht sinnvoll. Zudem sind 72 % der Haushalte der Ansicht, dass durch eine bessere ÖV-Anbindung der Siedlung „Am Weiher“, sie es sich vorstellen können, den ÖV häufiger zu nutzen, wohingegen nur 28 % sich dies nicht vorstellen können (siehe Abbildung 23).

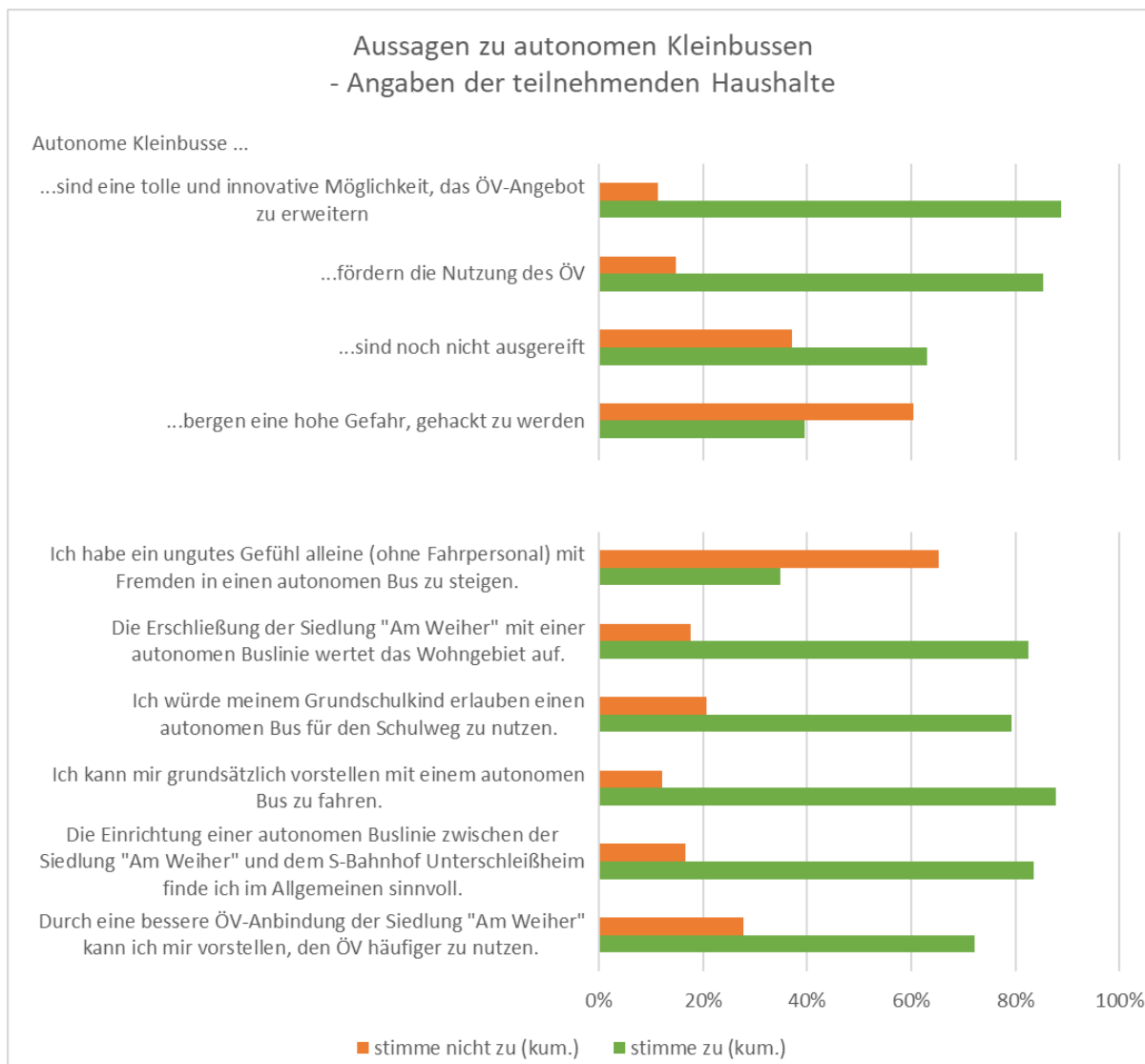


Abbildung 23 Aussagen der Haushalte zu autonomen Bussen

Abschließend wurden die Haushalte zu den Voraussetzungen befragt, die gegeben sein müssen, damit sie einen autonomen Bus für die Strecke zwischen der Siedlung „Am Weiher“ und dem S-Bahnhof Unterschleißheim nutzen. Die wichtigste Voraussetzung ist dabei mit 78 %, dass die Taktdichte des Angebotes auf den S-Bahn-Fahrplan abgestimmt ist. Ebenfalls notwendig ist für 67 % der Haushalte, dass der autonome Bus in den MVV-Tarif integriert wird. Etwas weniger als die Hälfte der Haushalte (44 %) ist der Ansicht, dass die Reisezeit des autonomen Busses nicht länger sein darf als die Reisezeit mit gängigen Verkehrsmitteln des ÖPNV. Die geringste Bedeutung wird der

Sicherheit beigemessen. Nur 1 % der Haushalte gaben als Voraussetzung an, dass autonome Busse sicher sein müssen, ehe sie diese nutzen und lediglich 11 % gaben an, dass sie autonome Busse nicht nutzen möchten. (siehe Abbildung 24)

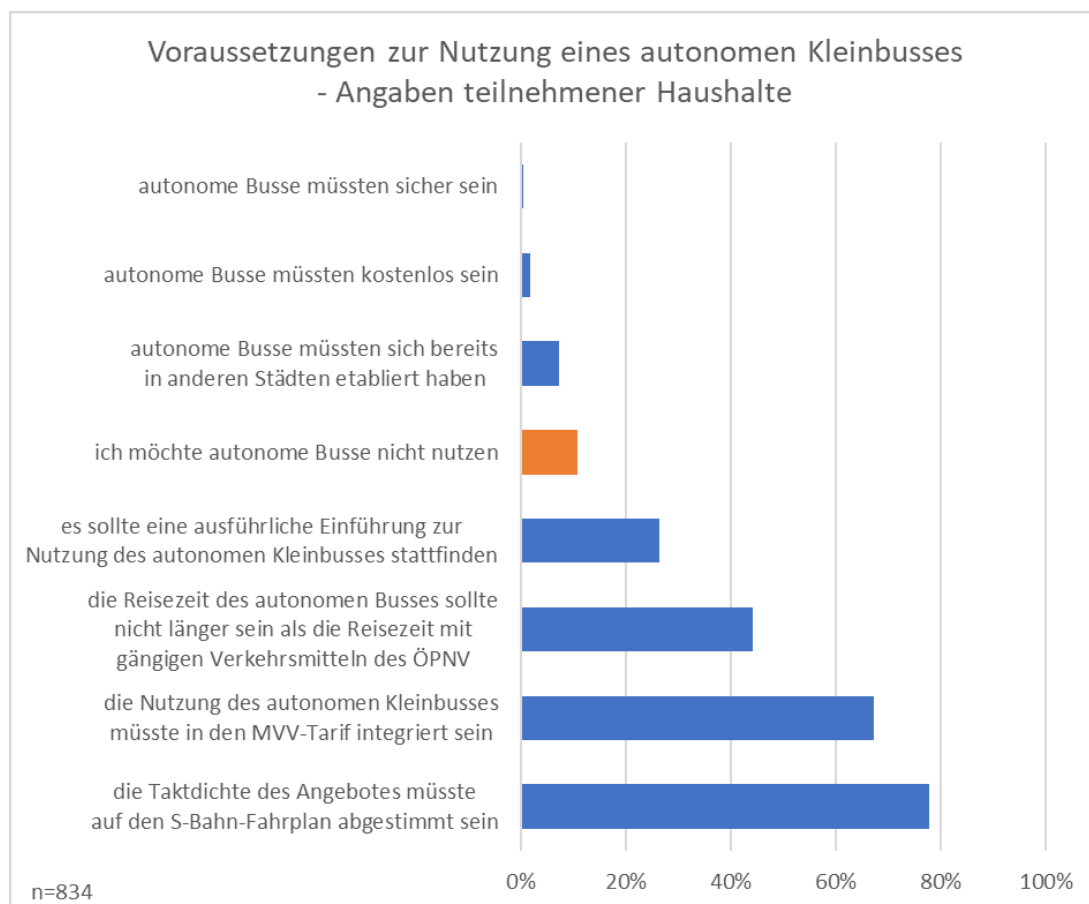


Abbildung 24 Voraussetzungen für Haushalte zur Nutzung des autonomen Busses

4.1.2 Unternehmensbefragung Business Campus Unterschleißheim

Als Datengrundlage für die Potenzialabschätzung im Erschließungsgebiet Business Campus wurde ebenfalls eine Befragung aller potenziellen Nutzer durchgeführt. Dabei wurden auf der einen Seite die Unternehmen befragt und auf der anderen Seite hat eine Befragung der Mitarbeiter am Standort stattgefunden.

Die Befragung der Unternehmen erfolgte ebenfalls mittels Online-Fragebogen und wurde zwischen Mitte Juli und Ende September 2020 durchgeführt. Die Einladungen zur Teilnahme am Online-

Fragebogen wurden durch die Business Campus Management GmbH an alle ansässigen Unternehmen per E-Mail versendet. Der komplette Unternehmensfragebogen ist in Anlage 2 enthalten. Zum Zeitpunkt der Erhebung waren 14 Unternehmen am Business Campus ansässig von denen 13 Unternehmen an der Umfrage teilgenommen haben.

Die Befragungsinhalte umfassten die folgenden Themenbereiche:

- Branche, Anzahl Mitarbeiter am Standort
- Mobilitätsbedarf am Standort
- Geschäftszeiten
- Meinung zur E-Mobilität

Die Anzahl der Mitarbeiter je Unternehmen, die am Business Campus arbeiten, variiert zwischen unter 5 bis über 100 Mitarbeiter, wobei drei Unternehmen weit mehr als 100 Mitarbeiter am Standort Business Campus haben (siehe Abbildung 25).

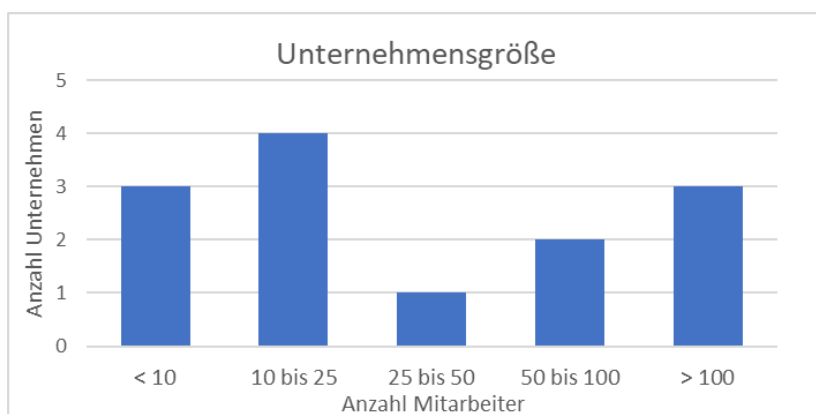


Abbildung 25 Unternehmensgrößen Business Campus

Eine gute Erreichbarkeit des Standorts für Kunden ist für alle Unternehmen von großer Bedeutung. Als jeweils eindeutig relevant wird eine Erreichbarkeit durch die Verkehrsmittel ÖPNV, Pkw und Fahrrad bewertet. Von größter Bedeutung ist dabei die Erreichbarkeit mit dem Pkw. Die Relevanz der Erreichbarkeit durch den ÖPNV wird als am zweitwichtigsten bewertet und die Erreichbarkeit des Standorts mit dem Fahrrad ist für die wenigsten Unternehmen von hoher Bedeutung (siehe Abbildung 26).

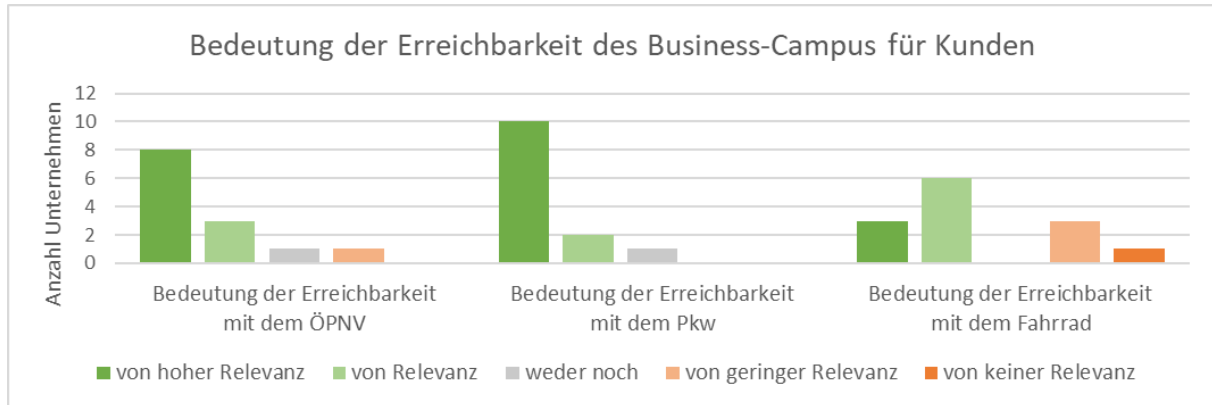


Abbildung 26 Bedeutung Erreichbarkeit Business Campus für Kunden

Die Erschließung des Business Campus mit einer autonomen Buslinie erachten nahezu alle Unternehmen für sinnvoll. Ebenfalls finden nahezu alle Unternehmen, dass durch eine autonome Buslinie der Business Campus eine Aufwertung erfahren würde und es die Erreichbarkeit für Kunden verbessern würde. Etwas weniger eindeutig, aber dennoch positiv, sind die Ansichten in Bezug auf die Akzeptanz seitens der eigenen Mitarbeiter. (siehe Abbildung 27)

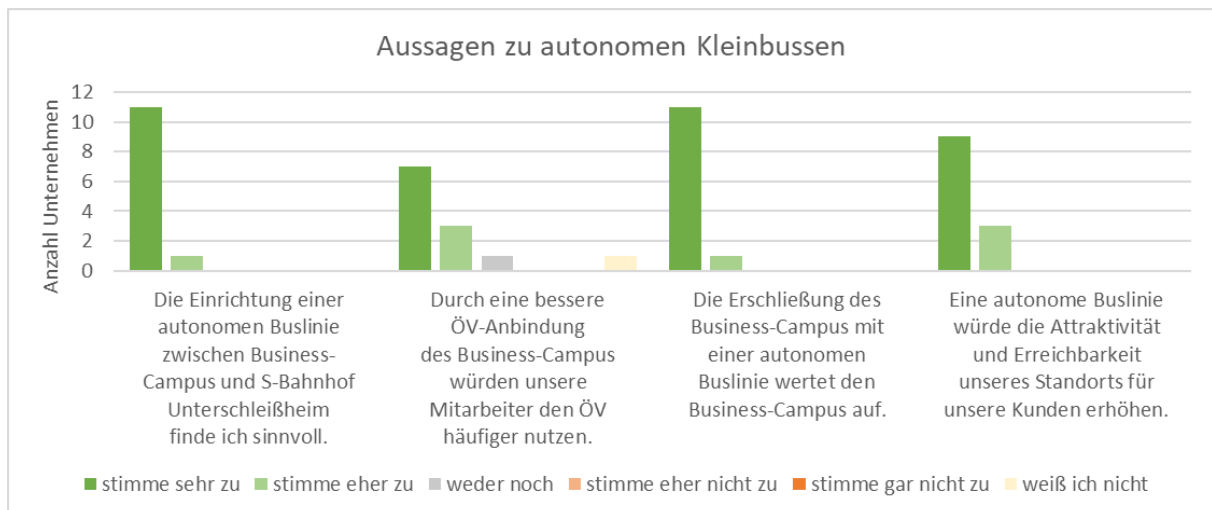


Abbildung 27 Aussagen der Unternehmen zu autonomen Bussen

Abschließend sollten die Unternehmen auswählen, welche der genannten Voraussetzungen gegeben sein müssen, damit ihre Mitarbeiter einen autonomen Bus für die Strecke zwischen dem Business Campus und dem S-Bahnhof Unterschleißheim nutzen. Nahezu alle Unternehmen sehen als wichtigste Voraussetzung, die Abstimmung der Taktdichte des autonomen Busses auf den Fahrplan

der S-Bahn. Ebenfalls von Bedeutung ist für etwas mehr als die Hälfte der Unternehmen, dass der autonome Bus in den MVV-Tarif integriert wird und dass die Reisezeit des autonomen Busses nicht länger sein darf als die Reisezeit mit gängigen Verkehrsmitteln des ÖPNV. Keines der Unternehmen ist der Ansicht, dass ihre Mitarbeiter den autonomen Bus nicht nutzen würden und auch eine vorherige Etablierung autonomer Busse in anderen Städten wird von keinem Unternehmen als Voraussetzung für die Nutzung durch ihre Mitarbeiter angesehen. (siehe Abbildung 28)

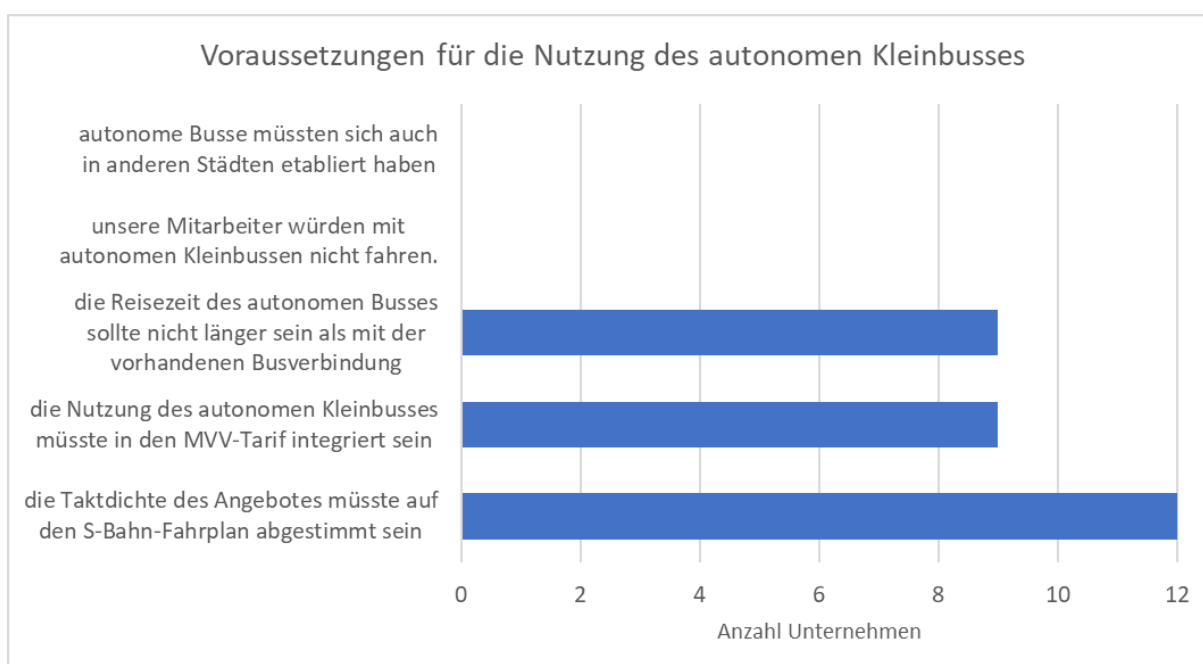


Abbildung 28 Voraussetzungen für Unternehmen zur Nutzung des autonomen Busses

4.1.3 Mitarbeiterbefragung Business Campus Unterschleißheim

Neben der Befragung der Unternehmen im Erschließungsgebiet Business Campus wurde auch eine Befragung der Mitarbeiter mit Arbeitsplatz am Business Campus durchgeführt. Die Befragung der Mitarbeiter erfolgte ebenfalls mittels Online-Fragebogen und wurde zwischen Mitte Juli und Ende September 2020 durchgeführt. Auf Grund der internationalen Mitarbeiterstruktur wurde eine deutsche und englische Version der Umfrage erstellt. Beide Fragebögen sind in Anlage 3 und Anlage 4 enthalten.

Zum Zeitpunkt der Erhebung waren gemäß Angaben der Stadt Unterschleißheim ca. 1.800 Mitarbeiter am Business Campus beschäftigt.

Die Business Campus Management GmbH hat die Einladung zur Teilnahme an der Online-Haushaltsbefragung per E-Mail an alle Unternehmen versendet und um Weiterleitung an die Mitarbeiter am Standort gebeten. Zudem wurde für die Umfrage auf dem Gelände des Business Campus in Aushängen und auf Monitoren geworben. An der Umfrage haben schlussendlich 83 Mitarbeiter teilgenommen.

Die Befragungsinhalte umfassten die folgenden Themenbereiche:

- Meinung zur E-Mobilität
- Verkehrsmittelwahl Arbeitsweg
- Aufenthaltszeiten am Business Campus

Einleitend wurde ein Bild eines autonomen Busses (vgl. Kapitel 2.1) dargestellt und die Befragungsteilnehmer sollten die Frage beantworten, ob sie einen autonomen Bus schon mal gesehen haben. Die Mehrheit (57 %) der teilnehmenden Mitarbeiter hat angegeben, so einen Bus bereits gesehen zu haben. Davon haben 47 % ihn in den Medien gesehen, 9 % haben ihn bereits in natura gesehen und 1 % sind bereits mit einem autonomen Bus gefahren. Demgegenüber haben 43 % angegeben, so einen Bus noch nie gesehen zu haben. (siehe Abbildung 29)

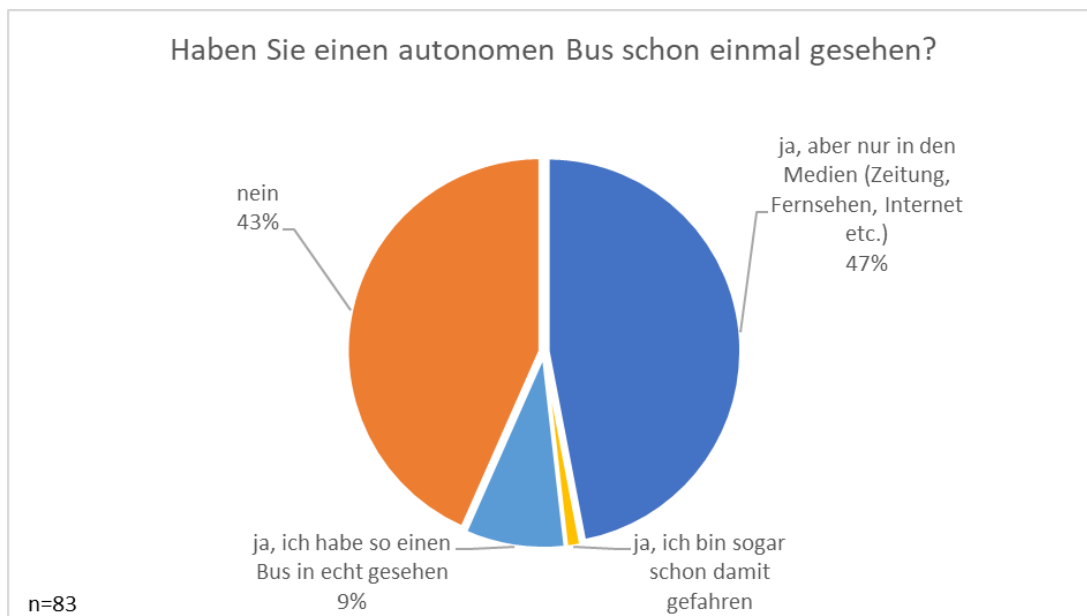


Abbildung 29 Kenntnis autonomer Busse (Mitarbeiterbefragung)

Daran anschließend wurden die Mitarbeiter nach Assoziationen mit autonomen Bussen gefragt. Mit 72 % verbinden die meisten Mitarbeiter den Begriff „Innovation“ mit autonomen Bussen, dicht gefolgt von „Zukunft“ mit 65 %. Die wenigsten Mitarbeiter haben negative Assoziationen mit autonomen Bussen. 5 % der Mitarbeiter haben den Begriff „Angst“ gewählt und nur 1 % sind der Ansicht, dass autonome Busse zu langsam fahren würden. (siehe Abbildung 30)

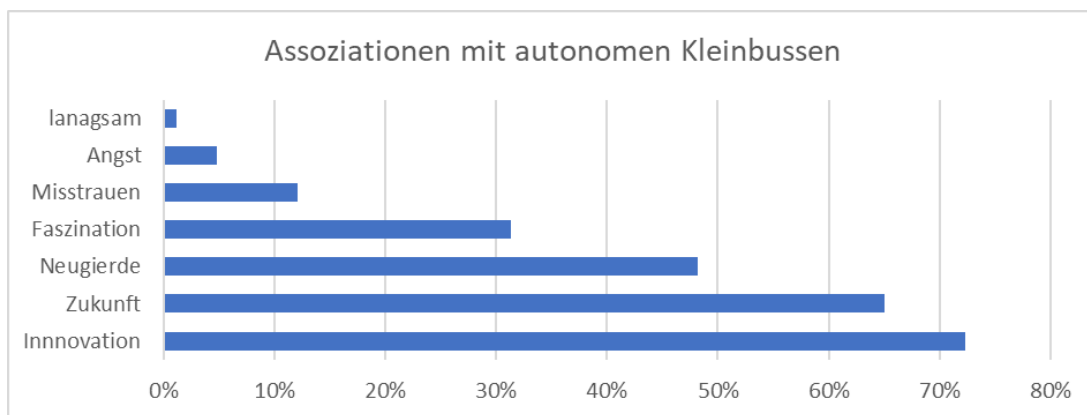


Abbildung 30 Assoziationen mit autonomen Bussen (Mitarbeiterbefragung)

Die kumulative Auswertung der Zustimmung bzw. Ablehnung zeigt, dass die überwiegende Mehrheit autonome Busse positiv bewertet. Davon sind 92 % der Ansicht, dass autonome Busse eine tolle und innovative Möglichkeit sind, das ÖV-Angebot zu erweitern und 80 % finden, dass diese die Nutzung des ÖV fördern werden. Etwas mehr als die Hälfte (58 %) der Befragten ist aber auch der Meinung, dass autonome Busse noch nicht ausgereift sind und 22 % können sich vorstellen, dass eine Gefahr besteht, dass autonome Busse gehackt werden könnten. Eine allgemeine Bereitschaft einen autonomen Bus zu nutzen besteht bei 91 % der Mitarbeiter. Zudem sind 87 % der Mitarbeiter der Auffassung, dass durch eine Erschließung des Business Campus mit einer autonomen Buslinie der Standort aufgewertet wird. Die Einrichtung einer autonomen Buslinie zwischen dem Business Campus und dem S-Bahnhof Unterschleißheim erachten 76 % der Mitarbeiter im Allgemeinen für sinnvoll und nur 11 % halten dies für nicht sinnvoll. Zudem sind 62 % der Mitarbeiter der Ansicht, dass durch eine bessere ÖV-Anbindung des Business Campus, sie es sich vorstellen können, den ÖV häufiger zu nutzen, wohingegen nur 19 % sich dies nicht vorstellen können. (siehe Abbildung 31)

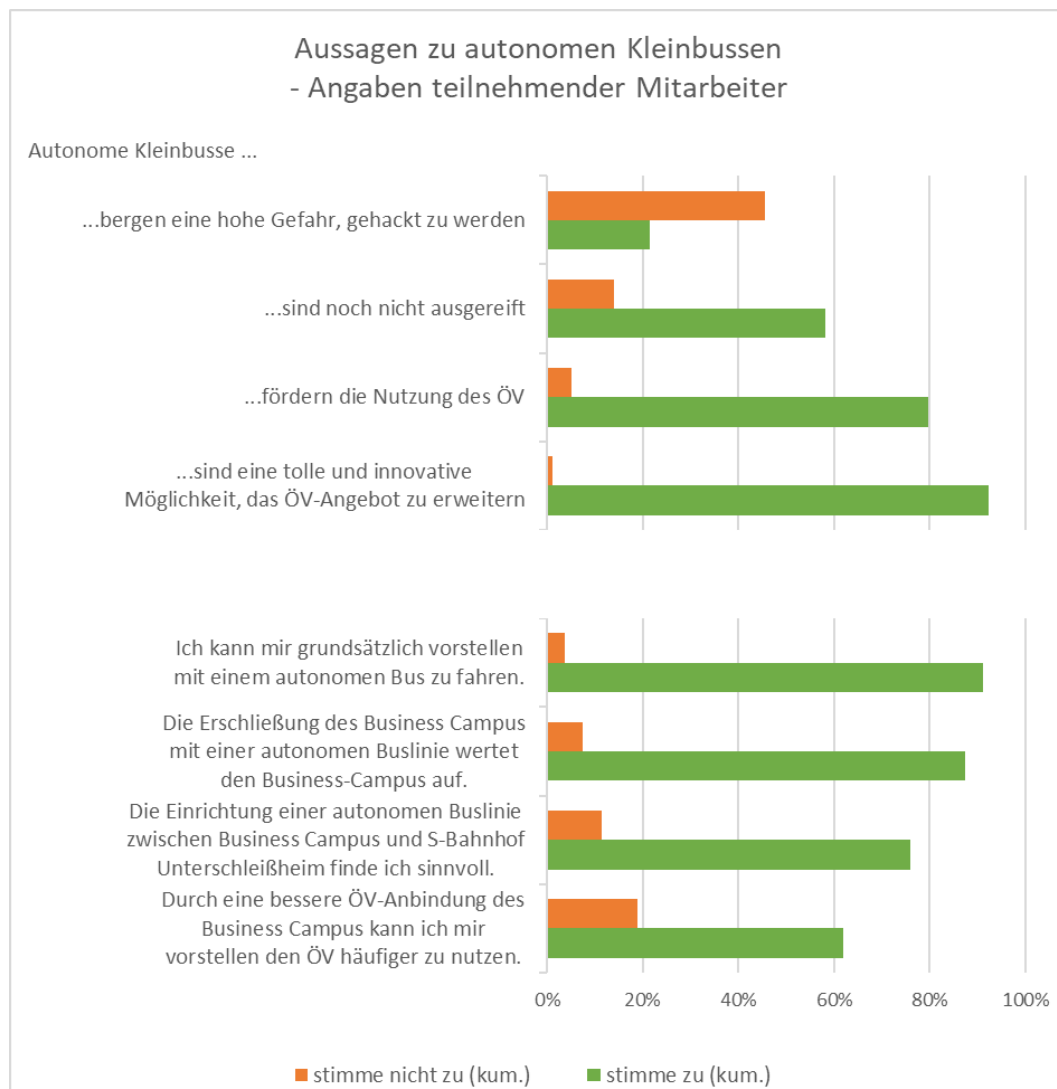


Abbildung 31 Aussagen zu autonomen Bussen (Mitarbeiterbefragung)

Abschließend wurden die Mitarbeiter zu den Voraussetzungen befragt, die gegeben sein müssen, damit sie einen autonomen Bus für die Strecke zwischen dem Business Campus und dem S-Bahnhof Unterschleißheim nutzen. Die wichtigste Voraussetzung ist für 78 % der Teilnehmer, dass die Taktdichte des Angebotes auf den S-Bahn-Fahrplan abgestimmt wird. Ebenfalls notwendig ist für 63 % der Teilnehmer, dass der autonome Bus in den MVV-Tarif integriert wird. Etwas weniger als die Hälfte (42 %) sind der Ansicht, dass die Reisezeit des autonomen Busses nicht länger sein darf als die Reisezeit mit gängigen Verkehrsmitteln des ÖPNV. Nur 1 % gaben als Voraussetzung an, dass

autonome Busse sicher sein müssen, ehe sie diese nutzen und 5 % gaben an, dass sie mit autonomen Bussen nicht fahren möchten. (siehe Abbildung 32)

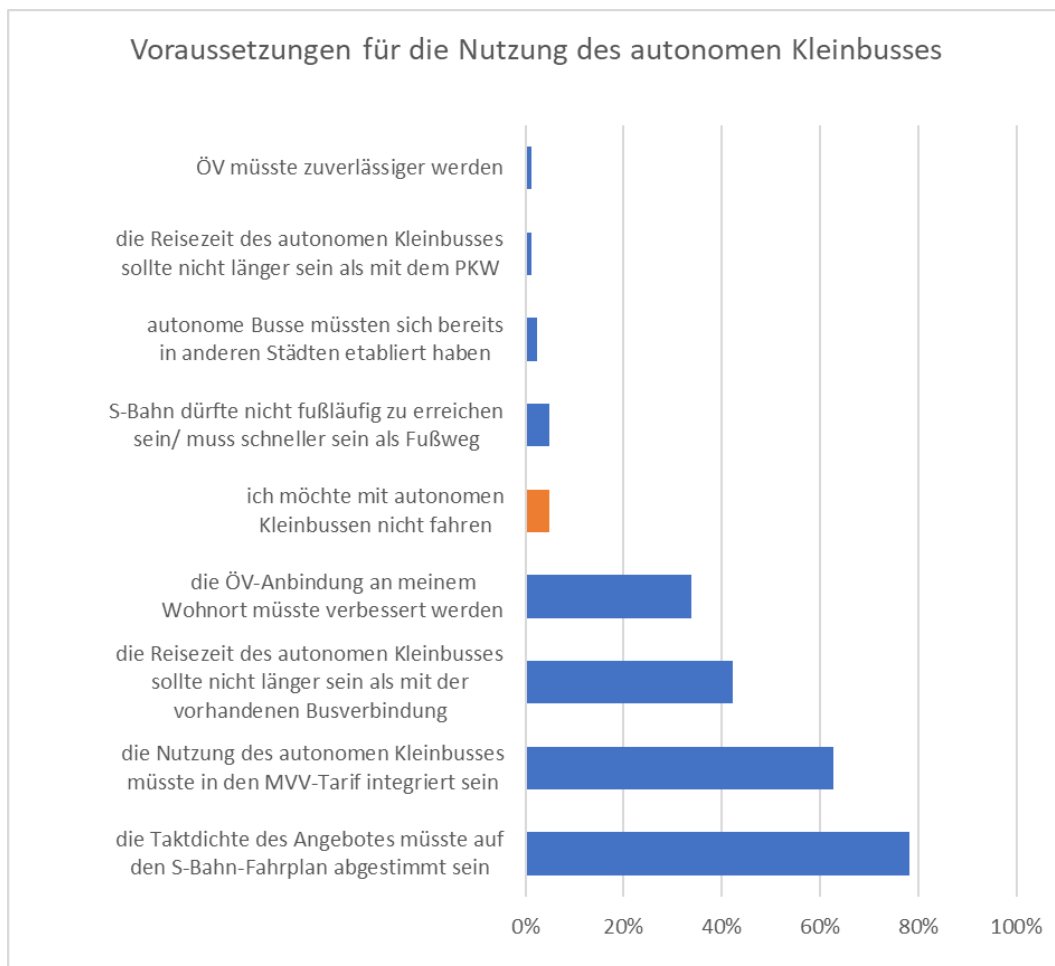


Abbildung 32 Voraussetzungen für Mitarbeiter zur Nutzung autonomer Busse

4.2 Potenzialanalyse

Für die Abschätzung des jeweiligen Nutzerpotenzials der beide Erschließungsgebiete ist es notwendig die Fragen zum Mobilitätsverhalten der potenziellen Nutzer unter Berücksichtigung der Fragen zur Einstellung zum Thema auszuwerten. Auf Basis der in Kapitel 4.1.1 ermittelten Werte wurde die Anzahl der potenziellen Fahrgäste je Stundengruppe sowie aufgeteilt nach Richtung ermittelt. Im nächsten Schritt erfolgte die Aufteilung der Personen je Stundengruppe auf die verschiedenen Verkehrsmittel, die in der Regel für den Weg zwischen dem Erschließungsgebiet und dem S-Bahnhof

Unterschleißheim verwendet werden. Um daraus das Nachfragepotential je S-Bahn abzuleiten, erfolgte abschließend eine Verteilung auf jede S-Bahn (Annahme: 20 min-Takt der S-Bahn).

4.2.1 Potentialanalyse Siedlung „Am Weiher“

Durch die Auswertungen der Fragen zur Einstellung der Befragten zum Thema Elektromobilität und autonomes Fahren kann bei dem Erschließungsgebiet „Am Weiher“ von einem Nutzerpotenzial von 66 % ausgegangen werden. Diese Potenzialannahme basiert auf den überwiegend positiven Einschätzungen der Befragungsteilnehmer gegenüber dem neuen Angeboten der autonomen Shuttles (siehe Kapitel 4.1.1).

Nutzerpotenziale für einen durchschnittlichen Werktag

In Abbildung 33 ist die Verteilung der Personen im Tagesgang je Stunde für die Verbindung zwischen Siedlung „Am Weiher“ und S-Bahnhof Unterschleißheim in beiden Fahrtrichtungen dargestellt. Bei einem angenommenen Nutzerpotenzial von 66 % starten die meisten Personen dabei von der Siedlung „Am Weiher“ Richtung S-Bahnhof Unterschleißheim morgens zwischen 6 und 9 Uhr und auf dem Rückweg befinden sich die meisten Personen nachmittags zwischen 16 und 18 Uhr.

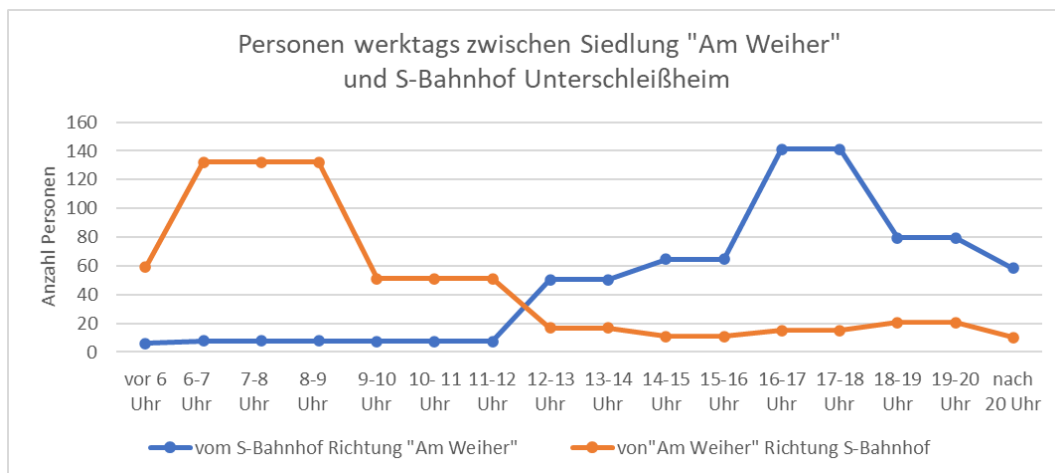


Abbildung 33 Anzahl Personen werktags zwischen Siedlung „Am Weiher“ und S-Bahnhof Unterschleißheim
(Annahme: ca. 2/3 des Nutzerpotenzials gemäß Ergebnis der Befragungen kommen für eine E-Shuttle-Nutzung in Frage)

In Abbildung 34 ist nur die Verteilung der Personen für den Weg von der Siedlung Richtung S-Bahnhof Unterschleißheim im Tagesgang und je Stunde sowie aufgeteilt auf die verschiedenen

Verkehrsmittel bzw. Verkehrsmittelkombinationen dargestellt. Bei der Verteilung der Personen auf die verschiedenen Verkehrsmittel zeigt sich, dass für den Weg Richtung S-Bahn am häufigsten das Fahrrad genutzt wird oder die Bewohner gehen zu Fuß.

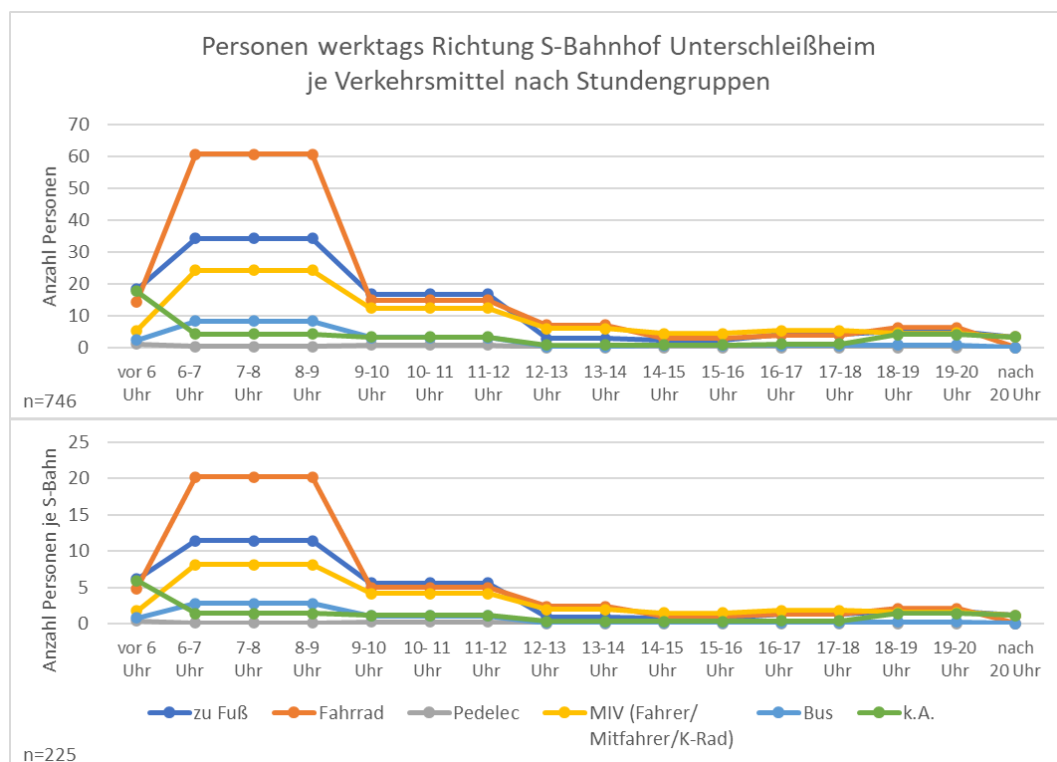


Abbildung 34 Anzahl Personen werktags Richtung S-Bahn Hof je Verkehrsmittel (Annahme: ca. 2/3 des Nutzerpotenzials für eine E-Shuttle-Nutzung in Frage kommend, gemäß Ergebnis der Befragungen; oben: Personen je Stundengruppe; unten: mittlere Personenanzahl je S-Bahn)

Eine differenzierte Darstellung liefert Abbildung 34 (unten), in der anstelle der Gesamtzahl der Personen je Stunde, die Anzahl der Personen je S-Bahn (bei 20 min-Takt der S-Bahn) und je Stunde dargestellt wird. Es ist zu erkennen, dass sich je abfahrender S-Bahn Richtung München ca. 20 Personen auf dem Weg von der Siedlung „Am Weiher“ Richtung S-Bahn Hof Unterschleißheim befinden, welche als potenzielle Nutzer des autonomen Shuttles angesehen werden.

Nutzerpotenziale für einen durchschnittlichen Samstag

Im Vergleich zu einem durchschnittlichen Werktag zeigt sich an einem durchschnittlichen Samstag eine weniger eindeutige Verteilung der beiden Mengenkurven. Dennoch befinden sich, wie auch werktags, am Vormittag mehr Personen auf dem Weg Richtung S-Bahnhof und am Nachmittag, sowie insbesondere am Abend, mehr Personen vom S-Bahnhof Richtung Siedlung „Am Weiher“ (siehe Abbildung 35).

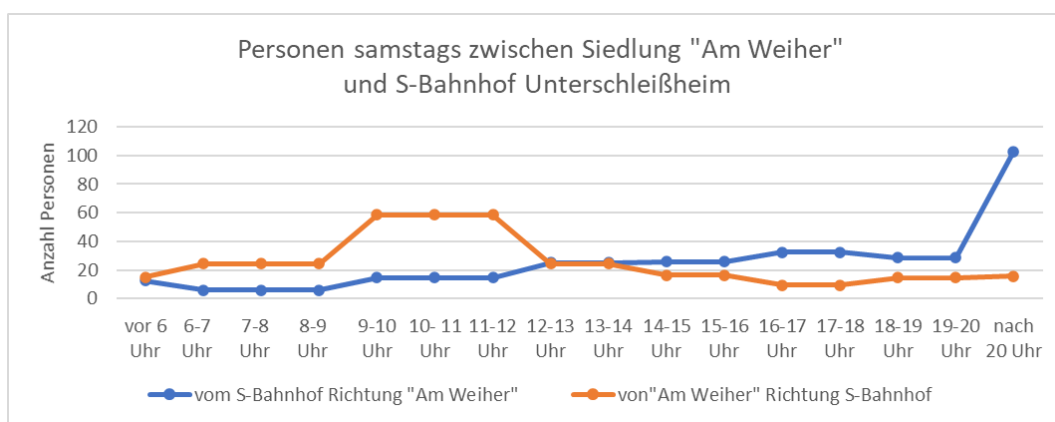


Abbildung 35 Anzahl Personen samstags zwischen Siedlung „Am Weiher“ und S-Bahnhof Unterschleißheim
(Annahme: ca. 2/3 des Nutzerpotenzials für eine E-Shuttle-Nutzung in Frage kommend, gemäß Ergebnis der Befragungen)

Nutzerpotenziale für einen durchschnittlichen Sonntag

An einem durchschnittlichen Sonntag zeigen sich ähnliche Verläufe wie samstags, jedoch mit verringerten Personenanzahlen. Wie auch werktags, sind vormittags mehr Personen auf dem Weg Richtung S-Bahnhof unterwegs und am Nachmittag, sowie insbesondere am Abend, mehr Personen vom S-Bahnhof Richtung Siedlung „Am Weiher“. Sehr markant sind samstags wie auch sonntags, jeweils gegen Ende des Tages die Zunahmen bei den Personenanzahlen vom S-Bahnhof Richtung Siedlung „Am Weiher“ (siehe Abbildung 36).

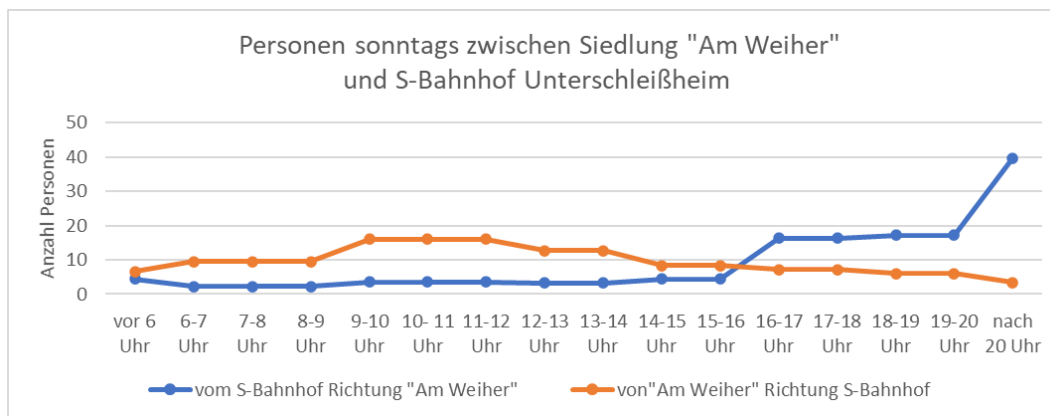


Abbildung 36 Anzahl Personen sonntags zwischen Siedlung „Am Weiher“ und S-Bahnhof Unterschleißheim
(Annahme: ca. 2/3 des Nutzerpotenzials für eine E-Shuttle-Nutzung in Frage kommend, gemäß Ergebnis der Befragungen)

4.2.2 Potentialanalyse Business Campus

Bei der Auswertung der Mitarbeiterbefragung wurde zum Zwecke der Hochrechnung von einer Grundgesamtheit von ca. 2.000 Mitarbeitern am Standort ausgegangen.

Einen Überblick über die Verkehrsmittelwahl für den Arbeitsweg gibt die Abbildung 37. Für den Arbeitsweg wird der Pkw mit 34 % am häufigsten genutzt, die Kombination aus S-Bahn und zu Fuß wird mit 22 % am zweithäufigsten genutzt und an dritter Stelle findet die Fahrradnutzung mit 18 %.

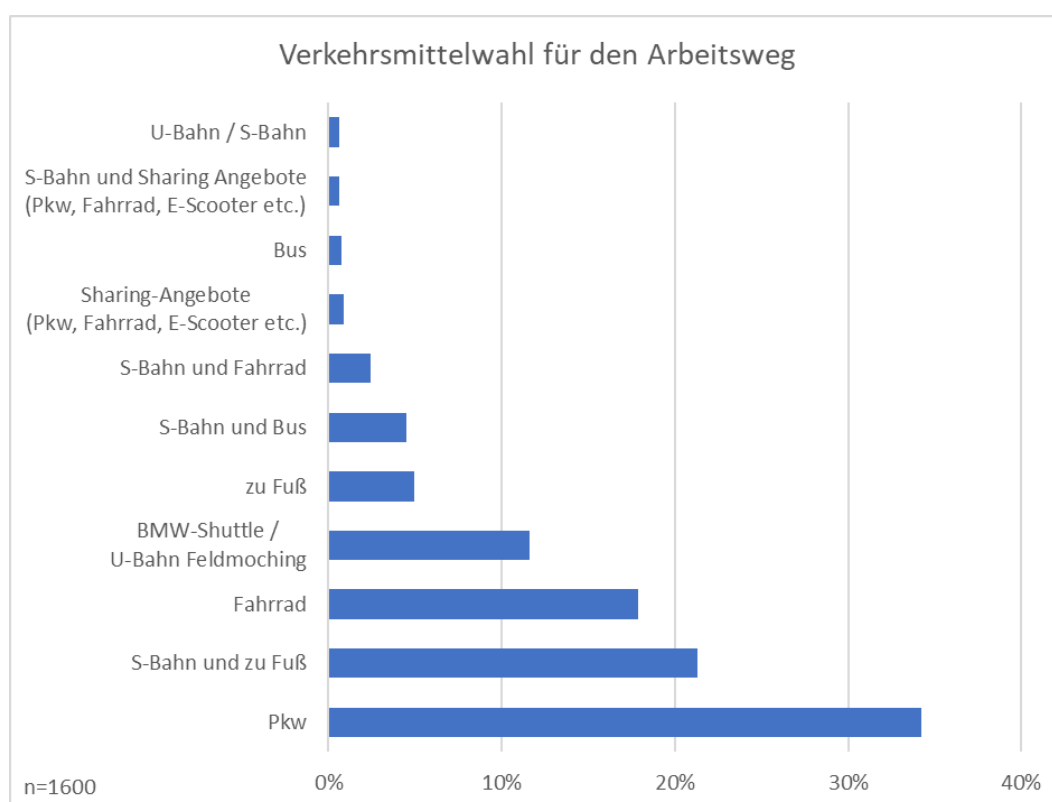


Abbildung 37 Verkehrsmittelwahl für den Arbeitsweg zum Business Campus
(Annahme: ca. 4/5 des Nutzerpotenzials für eine E-Shuttle-Nutzung in Frage kommend, gemäß Ergebnis der Befragungen)

Durch die Auswertungen der Fragen zur Einstellung zum Thema Elektromobilität und autonomes Fahren kann bei dem Erschließungsgebiet Business Campus von einem Nutzerpotenzial von 80 % ausgegangen werden. Auf Basis dieser Annahme kommen mit 1.212 Personen die meisten der 1.600 potenziellen Nutzer zwischen 7:00 und 9:00 Uhr am Business Campus an. Die Hauptabreisezeit der

Mitarbeiter ist zwischen 16:30 und 18:30 Uhr. In diesem Zeitraum verlassen 1.296 Personen den Business Campus (siehe Abbildung 38)

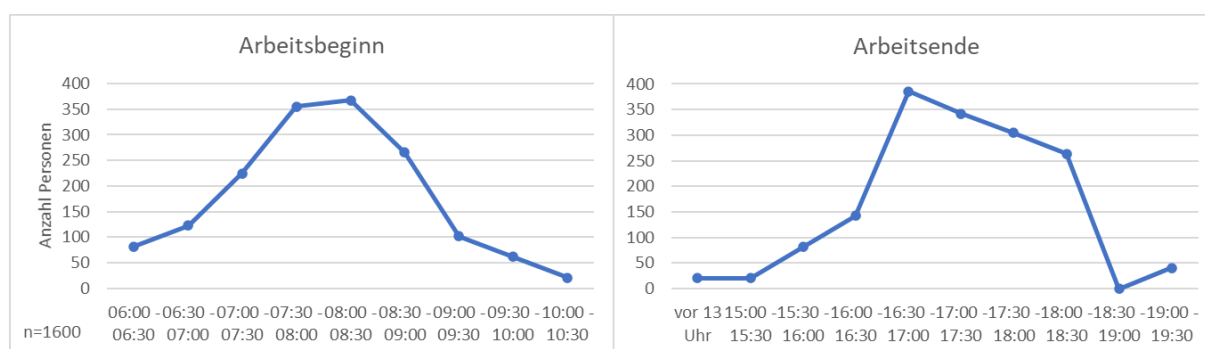


Abbildung 38 Arbeitsbeginn und -ende der Mitarbeiter am Business Campus
(Annahme: ca. 4/5 des Nutzerpotenzials für eine E-Shuttle-Nutzung in Frage kommend, gemäß Ergebnis der Befragungen)

4.3 Akzeptanzanalyse

In Kapitel 4.1 erfolgte eine Identifizierung und Definition der relevanten Nutzergruppen. Ebenfalls wurde mittels standardisierter Fragebögen neben der Einstellung der potenziellen Nutzer, d.h. ob sie eine positive Haltung zum Thema Elektromobilität und autonomes Fahren haben, auch das Mobilitätsverhalten sowie der Mobilitätsbedarf der jeweiligen Gruppen in Bezug auf die Strecke zwischen dem Erschließungsgebiet und dem S-Bahnhof Unterschleißheim untersucht.

Die Ergebnisse der Haushaltsbefragung der Siedlung „Am Weiher“ und der Unternehmens- sowie Mitarbeiterbefragung am Business Campus haben ergeben, dass mehr als die Hälfte Kenntnis über die Existenz autonomer Busse haben. Die Befragungsergebnisse zeigen auch, dass durch alle Nutzergruppen hinweg eine positive Einstellung gegenüber dem Thema Elektromobilität und autonomes Fahren besteht. Die überwiegende Mehrheit ist der Ansicht, dass autonome Busse eine innovative Möglichkeit sind, das ÖV-Angebot zu erweitern und die Nutzung des ÖV dadurch gefördert werden kann. Es wird jedoch auch deutlich, dass für die Mehrheit autonome Busse eher ein Verkehrsmittel der Zukunft darstellen, welches womöglich noch nicht vollkommen ausgereift ist. Zusammenfassend kann dennoch festgehalten werden, dass überwiegend eine Affinität zum Thema Elektromobilität und autonomes Fahren besteht sowie eine Bereitschaft zur Nutzung eines autonomen Busses gegeben ist.

Als wichtige Voraussetzung für die Nutzung gilt es darauf zu achten, dass die autonome Buslinie im Zeitvergleich mit anderen genutzten Verkehrsmitteln auf den jeweiligen Strecken gleichwertig

oder besser abschneidet. Zudem müssen der Takt sowie die Fahrzeiten an den Fahrplan der S-Bahn sowie die ermittelte Pendlerverteilung im Tagesgang abgestimmt werden und der autonome Bus müsste in den MVV-Tarif integriert sein.

Neben der positiven Einstellung der Nutzergruppen zeigen aber auch die Auswertungen im Rahmen der Potenzialanalyse (vgl. Kapitel 4.2), dass für beide Erschließungsgebiete im Tagesgang ausreichend Wege zwischen den jeweiligen Erschließungsgebieten und dem S-Bahnhof Unterschleißheim vorhanden sind, um eine gute Auslastung der Fahrzeuge zu ermöglichen. Diese Ergebnisse finden Eingang in die in Kapitel 5 dargestellte Betriebssimulation.

Einordnung der Erkenntnisse im Vergleich mit anderen Untersuchungen

Bei einer Vergleichsstudie im Rahmen des Forschungsprojekts „Erforschung der Voraussetzungen und Einsatzmöglichkeiten von automatisiert und elektrisch fahrenden (Klein-)Bussen im ÖPNV“ [PTV, 2019] zeigt sich, dass die Ergebnisse der in Unterschleißheim durchgeführten Onlinebefragungen sich nicht wesentlich von der deutschlandweiten Onlinebefragung zur Akzeptanz unterscheiden. Auch die Ergebnisse dieser Umfrage zeigen eine mehrheitlich positive Einstellung der Befragungsteilnehmer zum Thema autonom fahrender Busse im ÖPNV. Über 60 % der Teilnehmer sind der Ansicht, dass die Einführung autonomer Busse eine gute Idee sei und über 50 % sind der Meinung, dass automatisierte Busse zukünftig ein wichtiger Teil des ÖPNV sein werden und dieser durch solche Fahrzeuge attraktiver werden wird. Und auch die Teilnehmer dieser Umfrage wünschen sich mehrheitlich eine Integration des automatisierten Busses in das bestehende ÖPNV-Ticketangebot. [PTV, 2019, S. 49ff.]

Eine 2018 durchgeführte Nutzerbefragung im Kurort Bad Birnbach liefert zudem Vergleichswerte zur Einordnung der Potentialanalysen zum Erschließungsgebiet Siedlung „Am Weiher“ und Business Campus. In Bad Birnbach verkehrt seit Oktober 2017 zur Anbindung der Therme ein autonomer Shuttlebus zwischen Marktplatz und Bahnhof. Hier haben über 50 % der befragten Nutzer angegeben, dass sie es sich vorstellen können auch in Zukunft (fast) täglich einen autonomen Kleinbus zu nutzen. [PTV, 2019, S. 54]

Zusammenfassend ist jedoch zu bedenken, dass nicht allein „Akzeptanz und Nachfrage der Bevölkerung über Erfolg und Misserfolg neuer Technologien [...]“ entscheiden, sondern es sind vielmehr die „Wechselwirkungen zwischen zahlreichen Akteur(gruppe)n aus unterschiedlichen gesellschaftlichen Teilbereichen (Politik, Verwaltung, Privatwirtschaft, Zivilgesellschaft) und dem Artefakt der neuen Technologie, die als gesellschaftliche Einbettungsprozesse beschrieben werden können. D. h. nicht nur die Technologie passt sich den Nachfrage- oder Marktmustern an, sondern auch die Umwelt, also bspw. Infrastrukturen, rechtliche Rahmenwerke, Zuständigkeiten oder öffentliche Meinungen/Diskurse, passen sich den Innovationen an und können so zu einer

gesellschaftlichen Legitimation oder ggf. Blockade von Neuerungen beitragen.“ [DERER, 2020, S. 203f.]).

5 Betriebssimulation

Im Folgenden werden Details der durchgeführten Betriebssimulation eines On-Demand-Betriebs dargestellt. Zuerst werden die Annahmen genannt, auf denen die Simulationen aufbauen und die Szenarien entwickelt wurden. Anschließend wird die Methodik vorgestellt, mit der die Simulationen durchgeführt wurden, bevor die Ergebnisse dargestellt werden.

5.1 Annahmen

Wie in Abbildung 39 dargestellt, verwendet die Betriebssimulation ein abstraktes Netzwerk, das die Haltestellen „Unterschleißheim-West“ (Knoten 0 an der S-Bahnstation), „Ludwig-Thoma-Straße“ (Knoten 1), „Am Weiher, Ecke Furtweg“ (Knoten 2), sowie 3 Haltepunkte am Business Campus (Knoten 3-5) beinhaltet. Die Reisezeiten zwischen den Knoten sind aus Kapitel 3 übernommen. Das untersuchte Betriebsmodell sieht keine Direktfahrten zwischen der Siedlung „Am Weiher“ und dem Business Campus vor.

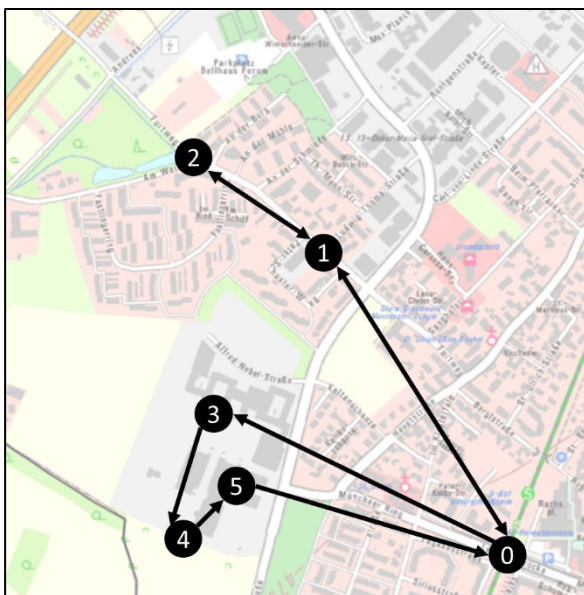


Abbildung 39 **Netzwerk der Betriebssimulation**
(Quelle Hintergrundkarte: Stadt Unterschleißheim)

Implizit nimmt die Betriebssimulation durch diese Netzwerkgestaltung an, dass mögliche Fahrgäste eines autonomen Shuttles für die Anwendungsfälle „Am Weiher“ und „Business Campus“ in folgende Klassen unterteilt werden können:

1. Fahrtwunsch von der Siedlung „Am Weiher“ zur S-Bahn-Haltestelle Unterschleißheim (Knoten 1 und 2 zu Knoten 0), welche möglichst pünktlich zu den Abfahrtszeiten der S-Bahn aus Unterschleißheim ankommen wollen.
2. Fahrtwunsch von der S-Bahn- Haltestelle Unterschleißheim in die Siedlung „Am Weiher“ (Knoten 0 zu Knoten 1 und 2), welche möglichst zeitig nach den Ankünften der S-Bahn in Unterschleißheim starten sollen.
3. Fahrtwunsch vom Business Campus zur S-Bahn- Haltestelle Unterschleißheim (Knoten 3, 4 und 5 zu Knoten 0), welche möglichst pünktlich zu den Abfahrtszeiten der S-Bahn aus Unterschleißheim ankommen wollen.
4. Fahrtwunsch von der S-Bahn- Haltestelle Unterschleißheim zum Business Campus (Knoten 0 zu Knoten 3, 4 und 5), welche möglichst zeitig nach den Ankünften der S-Bahn in Unterschleißheim starten sollen.

Fahrten innerhalb des Business Campus sind für diese Untersuchung zunächst ausgenommen, könnten aber einen Anwendungsfall für mögliche Schwachlastzeiten darstellen.

Die Ankünfte/Abfahrten der S-Bahn-Haltestelle Unterschleißheim sind den Fahrplänen der S1 (Stand: 20.10.2020) entnommen: in den Hauptlastzeiten hält die S-Bahn nach München um XX:12, XX:32 und XX:52 und die S-Bahn aus München jeweils 5 Minuten zuvor, um XX:07, XX:27 und XX:47. Ferner wird angenommen, dass 90 % der Reisenden der Siedlung „Am Weiher“ aus/in Richtung München unterwegs sind; für den Business Campus wird dieser Anteil mit 70 % angenommen. Aufgrund der Lage und Bebauungsfläche wird abgeschätzt, dass sich die Nachfrage in der Siedlung „Am Weiher“ zu gleichen Teilen auf die Knoten 1 und 2 aufteilt; am Business Campus wird die Nachfrage gleichmäßig auf die 3 Haltestellen verteilt. Die generelle Akzeptanz gegenüber autonomen Shuttles ergab sich aus der Umfrage zu 66 % für den Anwendungsfall „Am Weiher“ und zu 80 % für den Business Campus.

Aus Kapitel 0 ergab sich die Gesamtnachfrage je Verkehrsmittel, welche derzeit für die Verbindung zwischen der Siedlung „Am Weiher“ und S-Bahn bzw. zwischen Business Campus und S-Bahn verwenden. Auf Basis der vorherigen Verkehrsmittel wurden im nächsten Schritt die Verlagerungspotentiale zu einem autonomen Shuttle abgeschätzt. Dazu wurden mit Hilfe von Google Maps grob Reisezeiten abgeschätzt. Bei Bus und Shuttle wurden dabei auch auf Basis der Bebauung grob mittlere Zugangszeiten zu Fuß abgeschätzt.

Es wurden zwei Szenarien berücksichtigt:

Szenario 1: jede Fahrtrichtung wird einzeln bedient, d.h. für Fahrtwünsche, die mit der S-Bahn in Richtung Freising verknüpft sind, und solche, die mit der S-Bahn in Richtung München

verknüpft sind, werden jeweils separate Shuttle geschickt, um die Wartezeit am Bahnhof minimal zu halten.

Szenario 2: beide Fahrtrichtungen werden gemeinsam bedient, d.h. Reisende nach München und aus München müssen jeweils 5 Minuten am Bahnhof warten, da ihr Shuttle schon zur vorherigen S-Bahn angekommen ist bzw. mit der Abfahrt vom Bahnhof auf den nächsten Zug wartet.

Für beide Szenarien wurden je zwei Variationen gerechnet, in denen die Nachfrage (a) pessimistisch und (b) optimistisch abgeschätzt wurde. Dabei ergab sich die optimistische Schätzung immer aus dem doppelten der pessimistischen Schätzung. Die verwendeten Annahmen und Werte sind in Tabelle 7 bis Tabelle 9 zusammengefasst.

Annahmen: Verbindung Knoten 1 – S-Bahn		Fahrzeit E-Shuttle:		6 Minuten + X Minuten	
		Fußweg zur Haltestelle Knoten 1:		Gleichverteilung 0 - 6 Minuten	
		Szenario 1: max. Wartezeit 1 Minute (Puffer) – jede Fahrtrichtung der S-Bahn separat betrachtet		Szenario 2: max. Wartezeit 6 Minuten (Puffer) - beide Fahrtrichtungen der S-Bahn kombiniert betrachtet	
		Anteil an Fahrten, welche durch das E-Shuttle ersetzt werden			
	Wegezeit	(a) pessimistisch	(b) optimistisch	(a) pessimistisch	(b) optimistisch
Fahrrad zur S-Bahn	7 Minuten	10 %	20 %	5 %	10 %
zu Fuß zur S-Bahn	Gleichverteilung 15 - 20 Minuten	45 %	90 %	35 %	70 %
MIV zur S-Bahn	5 Minuten + X Parkplatzsuche	15 %	30 %	10 %	20 %
Buslinie 218 zur S-Bahn	5 Minuten + 6-8 Minuten Fußweg zur Haltestelle Linie 218	45 %	90 %	35 %	70 %

Tabelle 7 Annahmen zur modalen Verlagerung auf das E-Shuttle an der Haltestelle Knoten 1 (Am Weiher/Furtweg)

Annahmen: Verbindung Knoten 2 – S-Bahn		Fahrzeit E-Shuttle:		4 Minuten	
		Fußweg zur Haltestelle Knoten 2:		Gleichverteilung 0 - 3 Minuten	
		Szenario 1: max. Wartezeit 1 Minute (Puffer) – jede Fahrtrichtung der S-Bahn separat betrachtet		Szenario 2: max. Wartezeit 6 Minuten (Puffer) - beide Fahrtrichtungen der S-Bahn kombiniert betrachtet	
		Anteil an Fahrten, welche durch das E-Shuttle ersetzt werden			
	Wegezeit	(a) pessimistisch	(b) optimistisch	(a) pessimistisch	(b) optimistisch
Fahrrad zur S-Bahn	5 Minuten	5 %	10 %	2,5 %	5 %
zu Fuß zur S-Bahn	Gleichverteilung 8 - 11 Minuten	40 %	80 %	30 %	60 %
MIV zur S-Bahn	3 Minuten + X Parkplatzsuche	15 %	30 %	10 %	20 %
Buslinie 218 zur S-Bahn	5 Minuten + 3 Minuten Fußweg zur Haltestelle Linie 218	25 %	50 %	20 %	40 %

Tabelle 8 Annahmen zur modalen Verlagerung auf das E-Shuttle an der Haltestelle Knoten 2 (Ludwig-Thoma-Straße)

Annahmen: Verbindung Business Campus – S-Bahn		Fahrzeit E-Shuttle:		4 Minuten	
		Fußweg zu Haltestellen Knoten 3, 4, 5:		2 Minuten	
		Szenario 1: max. Wartezeit 1 Minute (Puffer) – jede Fahrtrichtung der S-Bahn separat betrachtet		Szenario 2: max. Wartezeit 6 Minuten (Puffer) - beide Fahrtrichtungen der S-Bahn kombiniert betrachtet	
		Anteil an Fahrten, welche durch das E-Shuttle ersetzt werden			
	Wegezeit	(a) pessimistisch	(b) optimistisch	(a) pessimistisch	(b) optimistisch
Fahrrad zur S-Bahn	4 Minuten	5 %	10 %	2,5 %	5 %
zu Fuß zur S-Bahn	9 Minuten	40 %	80 %	30 %	60 %
Buslinie 218 zur S-Bahn		5 %	10 %	2,5 %	5 %

Tabelle 9 Annahmen zur modalen Verlagerung auf das E-Shuttle an den Haltestellen Knoten 3, 4, 5 (Business Campus)

Aufgrund der geringen Geschwindigkeit sind bei Nutzung des E-Shuttles gegenüber dem Fahrrad keine Reisezeitgewinne zu verzeichnen. Da für das Shuttle zusätzlich noch der Fußweg zur Haltestelle anfällt und Radfahrer tendenziell eine gewollte Entscheidung für einen aktiven Weg treffen, werden die Verlagerungspotentiale hier mit 2,5 – 10 % eher gering eingeschätzt. Bei bisherigen MIV-Nutzern wird das Potential im Vergleich dazu höher eingeschätzt, da zwar die Reisezeit zunimmt, aber ein ähnlicher Komfort geboten werden kann und die Parkplatzsuche entfällt. Die höchsten

Verlagerungspotentiale werden bei Fußgängern und Nutzern der bisherigen Busverbindungen der Linie 218 gesehen. Dabei wird der Haltestelle „Am Weiher, Ecke Furtweg“ gegenüber der Haltestelle „Ludwig-Thoma-Straße“ ein höheres Verlagerungspotential angenommen, da die Entfernung zur bisherigen Bushaltestelle (Haltestelle der Buslinie 218 an der Landshuter Straße) größer und ein entsprechend langer Fußweg notwendig ist.

Zur vereinfachten Darstellung des Betriebes wurde weiter angenommen, dass die Shuttle-Fahrzeuge nur am Knoten 0 an der S-Bahn- Haltestelle parken können und die Vorausbuchungszeit hoch genug ist, dass Fahrzeuge von dort aus nur starten, falls Anfragen vorliegen. Dies erfordert für Fahrten vom Weiher eine Vorausbuchung 15 Minuten vor der Abfahrt der S-Bahn. Wenn man bedenkt, dass davon 6 Minuten für die Fahrtzeit von „Am Weiher“ und bis zu 6 Minuten für den Fußweg zur Haltestelle einzuplanen sind, klingt dies erstmal akzeptabel. Falls Shuttles im Bereich „Am Weiher“ parken könnten und die Nachfrage auch einigermaßen bekannt ist, könnte diese Zeit auch noch weiter reduziert werden. Am Business Campus wäre die Buchungszeit 10 Minuten vor der Abfahrt. Fahrten vom S-Bahnhof erfordern keine Buchungszeit, weil die Fahrzeuge eh dort parken.

Für die Simulation werden Fahrzeuge mit einer Kapazität von 10-Sitzplätzen vorgesehen. Aufgrund des zeitlichen Nachfrageprofils wurde von einer expliziten Modellierung von Ladestrategien abgesehen, da die Routen selbst kurz sind und Schwachlastzeiten bei vorhandenen Lademöglichkeiten entlang der Strecke genügend Zeit zum Laden der Batterien bieten, sofern entlang der vorgesehenen Strecke entsprechende Ladestationen zur Verfügung stehen.

5.2 Methodik

Aus den Schätzungen der Nutzerpotentiale und der modalen Verlagerung ergaben sich Werte, wie viel Nachfrage-Fahrten zu oder von der S-Bahn-Haltestelle und den jeweiligen Gebieten zu den jeweiligen Haltezeiten zugeordnet werden. Um auch den Einfluss statistischer Abweichungen zu testen, wurden auf Basis dieser Werte je Szenario 5 Nachfragedatensätze erzeugt, bei denen die Fahrtzahlen über einen Poisson-Prozess erzeugt wurden. Die jeweiligen geschätzten Werte gingen als Mittelwert in die Berechnung ein.

Die Simulation läuft zeitgesteuert ab. Jede Minute werden die Zustände der Flottenfahrzeuge auf Basis der aktuell zugewiesenen Route aktualisiert: Fahrzeuge ohne zugewiesene Route bleiben stehen, während Fahrzeuge mit zugewiesenen Routen sich entlang dieser geplanten Routen fortbewegen und an den Netzknoten halten, um Reisende ein- und aussteigen zu lassen. Anschließend werden neu ankommende Anfragen sequenziell mit einer Insertion Heuristik auf Fahrzeuge zugewiesen und die jeweiligen Fahrzeugrouten aktualisiert. Eine Zuweisung ist nur

möglich, wenn genügend Platz im Fahrzeug ist und die zeitlichen Randbedingung erfüllt wird, die eine rechtzeitige Ankunft an der S-Bahn-Haltestelle vor der jeweiligen Abfahrt der S-Bahn fordert. Die Simulation läuft zeitgesteuert ab. Jede Minute werden die Zustände der Flottenfahrzeuge auf Basis der aktuell zugewiesenen Route aktualisiert: Fahrzeuge ohne zugewiesene Route bleiben stehen, während Fahrzeuge mit zugewiesenen Routen sich entlang dieser geplanten Routen fortbewegen und an den Netzwerkknoten halten, um Reisende ein- und aussteigen zu lassen. Anschließend werden neu ankommende Anfragen sequenziell mit einer Insertion Heuristik auf Fahrzeuge zugewiesen und die jeweiligen Fahrzeugrouten aktualisiert. Eine Zuweisung ist nur möglich, wenn genügend Platz im Fahrzeug ist und die zeitlichen Randbedingung erfüllt wird, die eine rechtzeitige Ankunft an der S-Bahn-Haltestelle vor der jeweiligen Abfahrt der S-Bahn fordert.

Für gewöhnlich liefert ein Ansatz mit einer Insertion Heuristik keine optimalen Lösungen. Wegen der Einfachheit des Systems [ENGELHARD ET AL.] [2019, ENGELHARD ET AL., 2020] reicht diese für den vorliegenden Fall aber aus: im Endeffekt gibt es einen Linienfahrplan, bei dem zu bestimmten Uhrzeiten eine Fahrt am S-Bahnhof in Unterschleißheim beginnt, entweder in die Siedlung „Am Weiher“ oder zum Business Campus fährt, und dann wieder an den S-Bahnhof zurückkehrt. Der Unterschied zum typischen Linienbetrieb besteht darin, dass im Rahmen der Betriebssimulation eine Fahrt nur durchgeführt wird, falls es wirklich Nachfrage gibt.

5.3 Ergebnisse

Für alle Szenarien (1a, 1b, 2a, 2b) wurden Flottengrößen von 2 bis 10 Shuttles untersucht, wobei 5 Simulationen je Flottengröße mit den unterschiedlichen Nachfragedatensätzen gerechnet wurden und deren Mittelwerte hier genannt werden, wenn nicht explizit ein „Seed“ (zwischen 0 und 4) genannt wird. Im Weiteren werden die Ergebnisse für Wochentage angegeben, da diese wegen der höheren Nachfrage als am Wochenende die Anzahl der benötigten Fahrzeuge festlegen.

Eine Auswertung der Standardabweichungen von den Größen „Anzahl bedienter Anfragen“, „Flottengesamtfahrleistung“, „km-gewichteter Besetzungsgrad“ und dem „Anteil an Leerfahrten“ zeigt, dass diese Größen bei den 5 Simulationsläufen je Szenario im Bereich von 0 bis zu 7 % und meist zwischen 0 und 5 % der Mittelwerte liegen, weshalb die 5 Simulationen als statistisch ausreichend gesehen werden.

Zur Wiederholung: Szenario 1 entspricht dem Fall, dass beide S-Bahn Richtungen einzeln bedient werden und Szenario 2 dem Fall, dass beide S-Bahn Richtungen gleichzeitig bedient werden und die Reisenden einer Fahrtrichtung je 5 Minuten am Bahnhof warten müssen. Variation a) beinhaltet die pessimistische und Variation b) die optimistische Schätzung zur modalen Verlagerung.

Zuerst werden die Ergebnisse für die Anzahl der bedienten Reisenden je Flottengröße untersucht. Abbildung 40 zeigt, dass 10 Shuttle-Fahrzeuge für alle Szenarien (nahezu) ausreichend sind, um alle Reiseanfragen zu bedienen. Nur im Szenario 1b) ist die gesamte Nachfrage mit 1.200 Reisenden so hoch, dass ein 11. Fahrzeug notwendig wäre, um 100 % aller Anfragen zu bedienen. Im Szenario 2a kann die geschätzte Nachfrage von und zum Business Campus und der Siedlung „Am Weiher“ mit 5 Fahrzeugen bedient werden. Für die Szenarien 1a) und 2b) sind jeweils 8 Fahrzeuge notwendig. Dabei werden in diesen zwei Szenarien mit 8 Fahrzeugen jedoch mit ca. 950 bzw. 600 Fahrgästen eine jeweils unterschiedliche Anzahl an Reisenden transportiert.

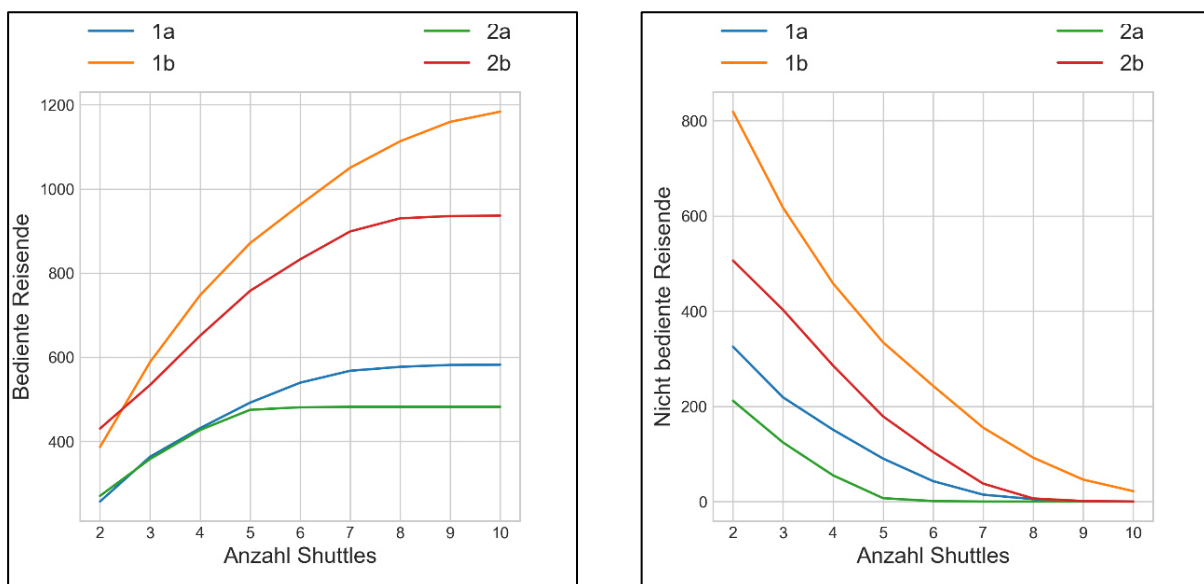


Abbildung 40 Anzahl der bedienten (links) und nicht bedienten (rechts) Reiseanfragen an einem Wochentag

Wie erwartet kann festgestellt werden, dass Shuttles eine höhere Fahrleistung zurücklegen müssen, wenn beide Richtungen einzeln angefahren (Szenario 1) werden. Abbildung 41 illustriert, wie sich die mittlere tägliche Fahrleistung je Shuttle in den einzelnen Szenarien für verschiedene Flottengrößen entwickelt. Die Kurven sind abfallend, da eine höhere Zahl an Shuttles nur für die Hauptlastzeiten notwendig sind und sich die gesamte Flotten-Fahrleistung während der Schwachlastzeiten kaum ändert. Daher steigt die gesamte Flotten-Fahrleistung weniger als die Anzahl der Fahrzeuge im System und die Fahrleistung der Fahrzeuge sinkt. Die Auswertung zeigt, dass bei kleineren Flottengrößen vermutlich auch während des Tages eine Zwischenladung erfolgen muss.

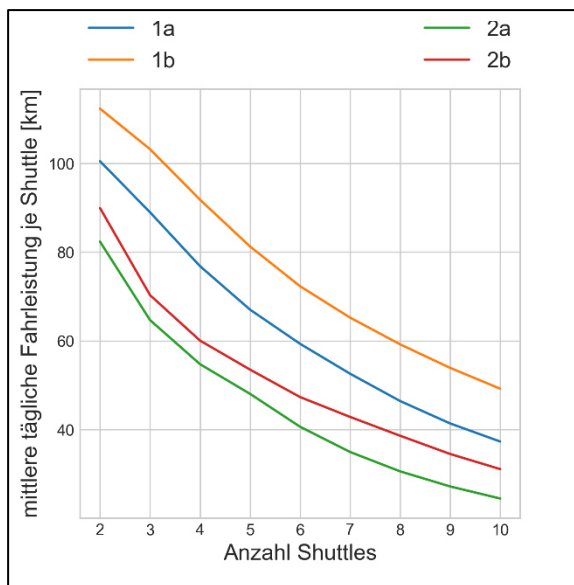


Abbildung 41 Mittlere tägliche Fahrleistung je Shuttle an einem Wochentag

Die Auswertungen des km-gewichteten Besetzungsgrades und des Anteils an Leerfahrten spiegeln die bisherigen Ergebnisse wider. Wie in Abbildung 42 dargestellt, ist für das Szenario 2b) mit ca. 2,5 Personen je Shuttle der höchste mittlere Besetzungsgrad zu erwarten. Bei der pessimistischen Schätzung in Szenario 2a) sinkt dieser Wert auf 1,6 Personen je Shuttle. Im Szenario 1 kann ein tendenziell geringer Besetzungsgrad als im Szenario 2 festgestellt werden. Dies ist auf die geringe Nachfrage zurückzuführen, die wegen der erhöhten Wartezeit an der S-Bahn-Haltestelle in eine Richtung zu erwarten ist.

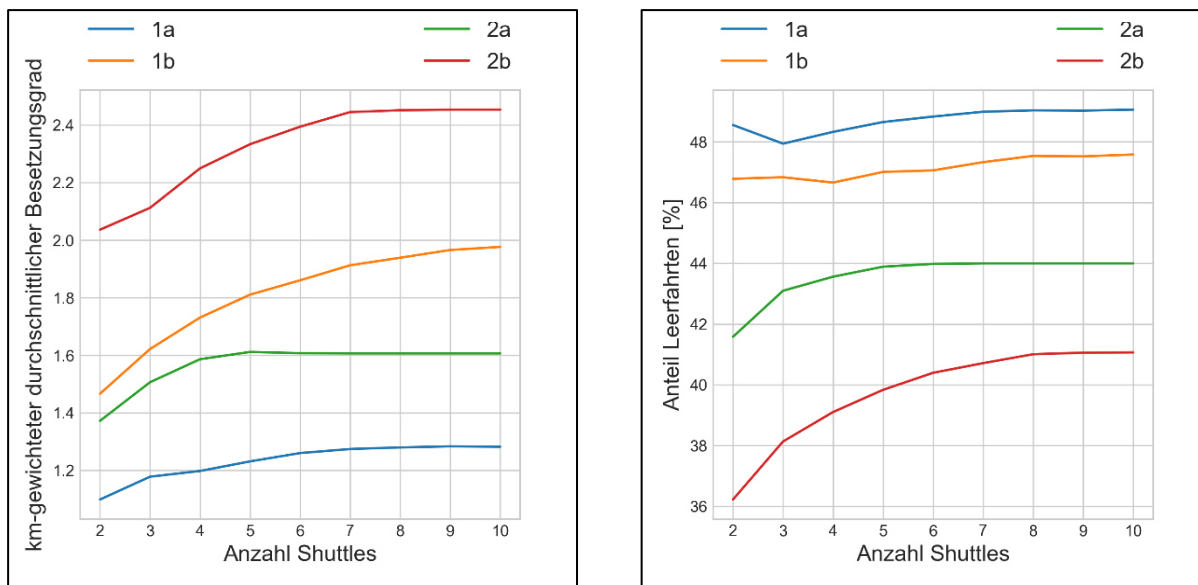


Abbildung 42 Mittlerer Besetzungsgrad und Leerfahrt-Anteil an einem Wochentag

Der Anteil der Leerfahrten ist mit 35-50 % sehr hoch. Dies liegt vor allem daran, dass komplette Touren gefahren werden, das heißt, dass Fahrzeuge immer wieder sofort zum Bahnhof zurückkehren. Die zeitliche Verteilung der Nachfrage in der Siedlung „Am Weiher“ ist so gestaltet, dass Fahrgäste entweder zur Siedlung transportiert werden und das Fahrzeug dann leer zurückfährt oder das Shuttle leer zur Siedlung fährt, um von dort Fahrgäste zur S-Bahn-Haltestelle zu bringen. Dies ist auch bei der Betrachtung des km-gewichteten Besetzungsgrades zu berücksichtigen.

Weiter wurde für jedes Szenario in einer Simulation mit 10 Fahrzeugen der zeitliche Verlauf der Anzahl der aktiv genutzten Fahrzeuge über einen Tag evaluiert. Diese zeitliche Auswertung zeigt die Spitzen auf, in denen mehr Shuttles notwendig wären, um die komplette Nachfrage zu bedienen. Die in Abbildung 43 dargestellten Kurven reflektieren die zeitliche Entwicklung der Nachfrage an einem Wochentag, in der morgens vorwiegend eine Nachfrage von der Siedlung „Am Weiher“ zur S-Bahn und von der S-Bahn in Richtung des Business Campus vorliegt; am Spätnachmittag werden die Spitzenbelastungen aufgrund der Nachfrage in den jeweils entgegengesetzten Richtungen hervorgerufen. Die Unterschiede der bedienten Nachfrage zwischen den Szenarien mit unterschiedlicher Fahrzeugzahl (Abbildung 40 links) ergeben sich in den Spitzenstunden, da dort mehr Fahrzeuge sinnvoll eingesetzt werden. Im Szenario 1 sind außerhalb der Spitzenstunden oftmals nur 3 Fahrzeuge notwendig, um die komplette Nachfrage zu bedienen; im Szenario 2 sind hierfür zu denselben Zeiten 2 Shuttle ausreichend.

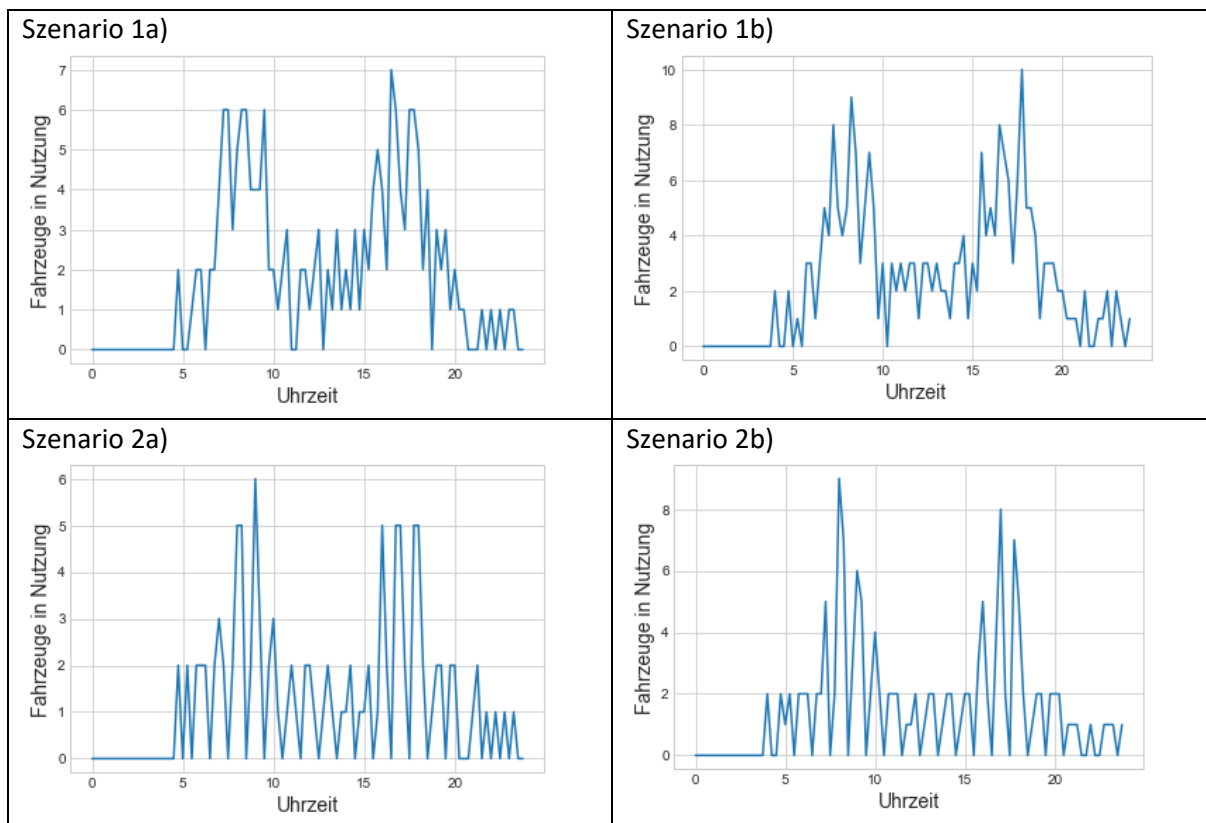


Abbildung 43 Zeitliche Entwicklung der Fahrzeugnutzung an einem Wochentag

5.4 Diskussion der Simulationsergebnisse

Generell ist das Nachfragepotential für einen autonomen Shuttleservice unter den getroffenen Annahmen zur modalen Verlagerung als sehr hoch anzusehen. Aufgrund des Pilotcharakters der Anwendung in Unterschleißheim, den derzeit erkennbaren funktionalen Defizite bei den Fahrzeugen und der Infrastruktur und den zu erwartenden hohen Kosten wird davon abgeraten, die abgeschätzte Nachfrage vollumfänglich mit Shuttles zu bedienen. Aus Kapitel 5.3 bzw. Abbildung 40 ist erkennbar, dass je nach Szenario mindestens 2-3 Shuttle notwendig sind, um die „Basis-Nachfrage“ in den Nebenverkehrszeiten bedienen zu können. Während der Hauptlastzeiten können z.B. Standardlinienbusse als Verstärker verwendet werden.

Hinsichtlich der Frage, ob das Szenario 1 (kaum Wartezeiten an der S-Bahn) oder das Szenario 2 (gemeinsame Bedienung stadtein- und stadtauswärtsfahrender S-Bahnen, geringe Wartezeiten) Grundlage für das Betriebskonzept sein sollte, wird es vermutlich erst einmal sinnvoller sein, mit Szenario 2 zu starten, um einen höheren Besetzungsgrad zu erzielen. Bei steigender bzw.

eingepogelter Nachfrage kann nachgesteuert werden. Für die Anzahl der Shuttle bedeutet das, dass man mit zwei Fahrzeugen startet und dann auf drei erhöht.

Wie beschrieben, werden im Betriebskonzept nahezu alle S-Bahnankünfte bedient, d.h. es besteht quasi ein an die S-Bahn gekoppelter Fahrplan. Für einen tatsächlichen On-Demand-Betrieb mit ausreichend Shuttles wäre es zielführend, sich Gedanken über Abstellmöglichkeiten in der Siedlung „Am Weiher“ zu machen. Dadurch würde einerseits der Kundenkomfort steigen, da die Reservierungszeit nahezu wegfallen könnte und andererseits würde der Leerfahrtanteil deutlich reduziert.

6 Feststellung der Tauglichkeit eines Pilotprojektes

Zur Einordnung der Möglichkeiten eines Pilotprojektes in Unterschleißheim wurden zunächst die Erkenntnisse aus den durchgeführten Untersuchungen der Machbarkeitsstudie zusammengestellt. Unter Berücksichtigung der Einschätzungen anderer Experten im Bereich autonome Shuttle wird aufgezeigt, welche Möglichkeiten zur Initiierung eines Pilotprojektes bestehen. Abschließend wird eine Grobkostenschätzung für den Betrieb autonomer Shuttles für die betrachteten Anwendungsfälle Business Campus und Siedlung „Am Weiher“ vorgenommen.

6.1 Experteninterviews

Neben der Expertise aus dem Gutachterteam wurden in die sich stellenden Fragen dieses Kapitels nach Projektpartnern, Betreibern und Radbedingungen eines Betriebs auch externe Expert*innen einbezogen. Folgende Tabelle gibt einen Überblick:

Interviewpartner	Institution	Expertise	Datum des Interviews
Nadja Schmidt (Oberregierungs- rätin)	Referat 62 Bayerisches Staatsministerium für Wohnen, Bau und Verkehr Lazarettstraße 67 80636 München	Förderung von E-Shuttle- Pilotprojekten in Bad Birnbach, LK Kelheim und Oberfranken	Per E-Mail am 29.01.2021
Timo Arimont (Referent Projekt HEAT)	Bereich Wandel und Innovation Hamburger Hochbahn AG Steinstraße 20 20095 Hamburg	Projekt HEAT E-Shuttle Betrieb mit Infrastrukturunterstützung in Hamburg	03.02.2021
Stefan Grüttner (Stabsstelle ÖPNV)	Landratsamt Kelheim Öffentlicher Personennahverkehr Hemauer Str. 48 93309 Kelheim	Aufgabenträger und Betreiber E-Shuttle in Kelheim/Weltenburg und Abensberg	03.02.2021
Dr. Thomas Huber (Leiter Innovative Verkehrskonzepte)	P.RS-BY-M(5) DB Regio Bus Elisabethstr. 16 85051 Ingolstadt	Betreiber E-Shuttle Bad Birnbach und in Oberfranken (Hof/Rehau/Kronach)	05.02.2021

Tabelle 10 Ansprechpartner Experteninterviews

Folgende Fragen wurden besprochen:

1. Welche Randbedingungen sehen Sie für den Einsatz eines autonomen Shuttles in einer Stadt wie Unterschleißheim?
2. Welche straßenseitige Unterstützung ist für einen Regelbetrieb zwingend notwendig?

- Welche Mindestausstattung muss vorhanden sein (zur Gewährleistung der Sicherheit des Systems)?
 - Welche weiteren Komponenten sind zur Verbesserung der System-Performance (Steigerung Geschwindigkeit, Komfort) denkbar?
3. Welches sind aus Ihrer Sicht zuverlässig arbeitende Komponenten zur Kommunikation der Fahrzeuge mit der Lichtsignalanlage (Road Side Unit - RSU, Onboard Unit - OBU)
 4. Welche zentralen Voraussetzungen sind zu erfüllen?
 - Welche betrieblichen und organisatorischen Anforderungen muss eine Leitzentrale für autonome Shuttlefahrzeuge bereits heute erfüllen?
 - Welche zusätzlichen Anforderungen sind zukünftig zu erwarten?
 5. Welche Betriebsform ist in Unterschleißheim denkbar?
 - Regelbetrieb nach Personenbeförderungsgesetz (PBefG)
 - Pilotbetrieb im öffentlichen Straßenraum / Forschungsprojekt
 - Welche Fragestellungen sind hierbei von besonderem Interesse?
 6. Welche finanzielle Unterstützung ist erforderlich/möglich?
 - Welche Fördermittelgeber/Förderprogramme kommen in Frage?
 7. 7. Welche Erfahrungswerte zu den Kosten liegen vor?
 - Investition Fahrzeug, Infrastruktur
 - Betriebskosten
 8. Welche Erfahrungen im Hinblick auf die Nutzerakzeptanz, vor allem zur Attraktivität für regelmäßige Nutzer, zur Zuverlässigkeit und den Erwartungen der Nutzer an die Beförderungsgeschwindigkeiten liegen Ihnen vor?
 9. Welche Hinweise können Sie für eine effizientere Gestaltung zukünftiger Zulassungsverfahren geben?
 - Was sind die lessons learned?

Die Protokolle der Interviews finden sich in Anlage 5.

Zusammenfassend sehen die Experten die Möglichkeit für die Umsetzung eines Pilotprojektes in Unterschleißheim nur im Zusammenhang mit einem Förderprojekt. Die Erfahrungen der bisherigen Anwendungen autonomer Shuttles hat gezeigt, dass ein Einsatz autonomer Shuttles im regulären Linienbetrieb nicht ohne Weiteres umsetzbar ist. Hinsichtlich technischer Abläufe vor allem im Zusammenhang mit der Kommunikation zwischen Fahrzeug und Infrastruktur sowie der Interaktion mit anderen Verkehrsteilnehmern im Straßenraum besteht noch weiteres Entwicklungspotenzial.

Ebenfalls ist eine komplett autonomer Betrieb (ohne Sicherheitsfahrer*in) bisher sowohl technisch als auch rechtlich noch nicht möglich. In der Steigerung der Betriebsgeschwindigkeit werden Ansatzpunkte für weitere Forschungen gesehen.

6.2 Identifizierung möglicher Betreiber / Kooperationspartner

Aufgabenträger für den ÖPNV ist der Landkreis München. Im Landkreis Kelheim tritt der Landkreis auch über ein kreiseigenes Unternehmen als Betreiber (Verkehrsunternehmen) auf. Eine Bereitschaft hierzu wurde vom Landkreis München bislang nicht signalisiert. Es bleibt also derzeit nur die Vergabe einer Dienstleistung im Wettbewerb an mögliche andere Betreiber.

Im Zuge der geführten Experteninterviews hat die DB Regio Bus daran Interesse kundgetan. Weitere Kooperationspartner stellen neben den Herstellern der Fahrzeuge auch die Hersteller von unterstützender Infrastruktur (z.B. Sensorik, Kommunikation mit Lichtsignalanlagen), wie SIEMENS oder auch SWARCO dar.

6.3 Randbedingungen für die Durchführung eines Pilotprojektes

Förderung

Fördermittel für Investition und/oder Betrieb sind unabdingbar. Potenzielle Fördermittelgeber sind sowohl der Freistaat Bayern (StMB) als auch der Bund (BMVI). Nach Aussage des StMB sind derzeit keine offenen Förderaufrufe bekannt. Durch das StMB wurde signalisiert, dass bei neuen Projekten zur Begründung der Förderfähigkeit eine **Weiterentwicklung der Anwendung** von E-Shuttles als Aufgabenstellung des Projektes dargestellt werden sollte.

Ein möglicher neuer und förderfähiger Anwendungsfall in Unterschleißheim wäre die Entwicklung und der Test eines angemessenen/unbedingt notwendigen Maßes der Unterstützung durch Infrastruktur.

Mögliche Forschungsziele:

- Welches Maß an Infrastruktur Ausstattung ist für ein autonomes Fahren ohne Operator im jeweiligen Anwendungsfeld notwendig?
- Möglichkeiten zur Steigerung der Betriebsgeschwindigkeit

Die Einbindung eines (ggf. neuen, noch nicht etablierten) Fahrzeugherstellers, welcher im Rahmen des Forschungsprojektes die Weiterentwicklung der Fahrzeugtechnologie vornimmt, ist von Vorteil (könnte ein Förderanreiz sein).

Betriebsgenehmigung

Nach Aussage des StMB ist als Voraussetzung für eine Förderfähigkeit eine Genehmigung nach PBefG zwingend erforderlich. Die Mehrzahl der bestehenden Projekte verfügt über eine Betriebsgenehmigung nach PBefG als Regel- oder Pilotbetrieb, als Pilotprojekt befristet auf vier Jahre. Ein Regelbetrieb nach PBefG hat die Erfüllung einer Betriebspflicht zur Folge. Diese ist mit störungsanfälligen Fahrzeugen nur aufwendig erfüllbar. So z.B. müssen konventionelle Ersatzfahrzeuge (mit Personal) vorgehalten werden. Es wird begleitend empfohlen, das Projekt nach außen als Forschungsprojekt darzustellen und mögliche Fehlfunktionen anzukündigen.

Sonstige Randbedingungen

Im Vergleich zu den Anwendungen in Kelheim oder Abensberg ist die Kundenstruktur in Unterschleißheim empfindlicher auf Verspätungen, da die S-Bahn erreicht werden muss. Die derzeit verfügbaren Fahrzeuge sind schnell überlastet (6 sitzende Fahrgäste), größere Fahrzeuge wären von Vorteil.

Bei Fahrten auf Streckenabschnitten mit 50 km/h zulässiger Höchstgeschwindigkeit ist erfahrungsgemäß vom Shuttle mindestens die Hälfte zu erreichen, was in Hamburg derzeit erprobt wird. Die Reduzierung der angeordneten Geschwindigkeit ist bei den Verkehrsbehörden schwer durchsetzbar. Eine Geschwindigkeit von mindestens 25 km/h zieht ebenfalls eine Gurtpflicht der Fahrgäste nach sich. In Unterschleißheim ist der geschilderte Sachverhalt für den Münchner Ring zutreffend.

Das im Projekt HEAT eingesetzte Shuttle der IAV kann flexibel innerhalb eines definierten Fahrschlauches, der die komplette Richtungsfahrbahn beinhaltet, agieren. Ein autonomes Ausweichen und Vorbeifahren an Hindernissen sind dadurch möglich. Grundsätzlich **nicht möglich** ist das Überholen unter Nutzung der Gegenfahrbahn. Das gilt derzeit für alle auf dem Markt befindlichen Shuttle und mindert wesentlich eine innerörtliche Anwendbarkeit.

Auch eine auf Unterschleißheim übertragbare Erfahrung bei HEAT in Hamburg ist, dass durch die Sensorunterstützung der Infrastruktur (Lidar und Radar in allen Zufahrten zur Kreuzung) **eine autonome Querung von LSA-Kreuzungen möglich und auch durch DEKRA zugelassen ist**. Die Kommunikation der Ampelphase an Fahrzeug ist dabei durch Siemens bereits an allen 9 Kreuzungen umgesetzt.

6.4 Kostenschätzung für den Einsatz von autonomen Shuttle in Unterschleißheim

In den Annahmen zur Betriebssimulation (Kapitel 5) wurde von einem Bedarfsverkehr als Bedienungsform ausgegangen, um ein möglichst optimales Ausschöpfen vorhandener Fahrgastpotenziale zu ermöglichen. Aus den Ergebnissen der Betriebssimulation ist zu erkennen, dass aus dem nachfrageorientierten On-Demand-Betrieb ein sehr hoher Betriebsaufwand resultiert, selbst wenn der Betrieb so ausgerichtet ist, dass unter Inkaufnahme größerer Wartezeiten für die Fahrgäste beide Fahrtrichtungen der S-Bahn an der Haltestelle Unterschleißheim adressiert werden (siehe Untersuchungen des Szenario 2 in Kapitel 5).

Unter diesem Gesichtspunkt sowie unter Einbeziehung der Ergebnisse der Experteninterviews wird zur Einführung eines E-Shuttles deshalb zunächst ein Linienverkehr mit festem Fahrplan als geeigneter betrachtet, zumal auch damit eine regelmäßige Verknüpfung mit den ankommenden / abfahrenden S-Bahnen möglich ist.

Zur Ermittlung der notwendigen Fahrzeuge und des damit verbundenen Betriebsaufwandes als Grundlage für eine Kostenschätzung wurde zunächst auf Basis des Erschließungskonzeptes (siehe Kapitel 3) ein grober Fahrplan entwickelt. Nachfolgend wird in Tabelle 11 und Tabelle 12 der Grob-Fahrplan für die Route zum Business Campus sowie für die Route zur Siedlung „Am Weiher“ ausschnittsweise und beginnend mit der ersten Fahrt des Betriebstages dargestellt. Der Fahrplan ist auf die S-Bahnen von und nach Richtung München abgestimmt, da für diese Züge die größte Nachfrage besteht. Nachdem die Fahrplanentwürfe lediglich zum Zwecke der Kostenschätzung erstellt wurden, wären vor Betriebsbeginn noch die Standzeiten an den Scheitelpunkten bzw. Endhaltestellen zu prüfen und anzupassen, um gegebenenfalls auch einen Umstieg zu den S-Bahnen von und nach Freising/Flughafen München zu ermöglichen.

Pro Tag wird bei beiden Routen mit einer Betriebszeit von 6 Uhr bis 20 Uhr ausgegangen und jede Route kann in diesem Zeitraum im 20 min-Takt bedient werden. Der hier vorgeschlagene 20 min-Takt ermöglicht eine Anbindung aller S-Bahn von und nach München. Es zeigt sich zudem, dass jedes Erschließungsgebiet mit einem Fahrzeug bedient werden kann.

	6			7			8			9	
S-Bahn aus Freising	05:52	06:12	06:32	06:52	07:12	07:32	07:52	08:12	08:32	08:52	09:12
S-Bahn aus München	05:47	06:07	06:27	06:47	07:07	07:27	07:47	08:07	08:27	08:47	09:07
Unterschleißheim West	05:51	06:11	06:31	06:51	07:11	07:31	07:51	08:11	08:31	08:51	09:11
Business Campus Haltestelle 1	05:54	06:14	06:34	06:54	07:14	07:34	07:54	08:14	08:34	08:54	09:14
Business Campus Haltestelle 2	05:55	06:15	06:35	06:55	07:15	07:35	07:55	08:15	08:35	08:55	09:15
Business Campus Haltestelle 3	05:56	06:16	06:36	06:56	07:16	07:36	07:56	08:16	08:36	08:56	09:16
Business Campus Haltestelle 1 an	05:59	06:19	06:39	06:59	07:19	07:39	07:59	08:19	08:39	08:59	09:19
Business Campus Haltestelle 1 ab	06:02	06:22	06:42	07:02	07:22	07:42	08:02	08:22	08:42	09:02	09:22
Business Campus Haltestelle 2	06:03	06:23	06:43	07:03	07:23	07:43	08:03	08:23	08:43	09:03	09:23
Business Campus Haltestelle 3	06:04	06:24	06:44	07:04	07:24	07:44	08:04	08:24	08:44	09:04	09:24
Unterschleißheim West	06:07	06:27	06:47	07:07	07:27	07:47	08:07	08:27	08:47	09:07	09:27
S-Bahn nach München	06:12	06:32	06:52	07:12	07:32	07:52	08:12	08:32	08:52	09:12	09:32
S-Bahn nach Freising	06:07	06:27	06:47	07:07	07:27	07:47	08:07	08:27	08:47	09:07	09:27

Tabelle 11 Fahrplan Business Campus (Auszug)

	6			7			8			9	
S-Bahn aus Freising	05:52	06:12	06:32	06:52	07:12	07:32	07:52	08:12	08:32	08:52	09:12
S-Bahn aus München	05:47	06:07	06:27	06:47	07:07	07:27	07:47	08:07	08:27	08:47	09:07
Unterschleißheim West	05:51	06:11	06:31	06:51	07:11	07:31	07:51	08:11	08:31	08:51	09:11
Berglstraße	05:54	06:14	06:34	06:54	07:14	07:34	07:54	08:14	08:34	08:54	09:14
Ludwig-Thoma-Straße	05:55	06:15	06:35	06:55	07:15	07:35	07:55	08:15	08:35	08:55	09:15
Am Weiher an	05:56	06:16	06:36	06:56	07:16	07:36	07:56	08:16	08:36	08:56	09:16
Am Weiher ab	06:03	06:23	06:43	07:03	07:23	07:43	08:03	08:23	08:43	09:03	09:23
Unterschleißheim West	06:08	06:28	06:48	07:08	07:28	07:48	08:08	08:28	08:48	09:08	09:28
S-Bahn nach München	06:12	06:32	06:52	07:12	07:32	07:52	08:12	08:32	08:52	09:12	09:32
S-Bahn nach Freising	06:07	06:27	06:47	07:07	07:27	07:47	08:07	08:27	08:47	09:07	09:27

Tabelle 12 Fahrplan Siedlung „Am Weiher“ (Auszug)

Durch eine Betriebszeit von 14 Stunden ergeben sich pro Route 43 Fahrten pro Betriebstag. Auf jeder Route müssen dabei täglich ca. 130 km (Business Campus) bzw. 140 km (Siedlung „Am Weiher“) Betriebsleistung erbracht werden und insgesamt ergibt sich daraus eine Betriebsleistung von ca. 45.000 km pro Jahr für die Route zum Business Campus und ca. 49.000 km pro Jahr für die Route zur Siedlung „Am Weiher“ (siehe Tabelle 13).

Business Campus	
Fahrten pro Tag	43
km pro Tag	125
km pro Jahr	45.000

Siedlung „Am Weiher“	
Fahrten pro Tag	43
km pro Tag	136
km pro Jahr	49.000

Tabelle 13 Betriebsleistung je Route

Dies ist einerseits ein wichtiger Input für die folgende Kostenschätzung, zeigt aber auch, dass für eine ganztägige Bedienung ohne größere Ladepausen die Reichweite von ca. 60 bis max. 120 km bei den auf dem Markt befindlichen E-Shuttles nicht ausreichend ist. Insofern muss, soweit keine Betriebspausen in Kauf genommen werden, von der Notwendigkeit eines dritten Fahrzeuges

ausgegangen werden, um so durch einen rollierenden Fahrzeugeinsatz Ladephasen während des täglichen Betriebs zu ermöglichen.

Die in Tabelle 14 dargestellte Kostenschätzung umfasst, dargestellt für ein Jahr, zum einen die Personalkosten pro Fahrzeug und zum anderen die Fahrzeugkosten pro Fahrzeug. Als Grundlage dieser Kostenschätzung dienten Erfahrungswerte bei vergleichbaren Projekten sowie die Ergebnisse der in Kapitel 6.1 dargestellten Experteninterviews, in deren Rahmen auch explizit alle relevanten Kostenkomponenten abgefragt wurden. Es zeigte sich, dass die jeweiligen Kosten in einer recht engen Bandbreite liegen, weshalb in Analogieschlüssen eine Übertragung dieser Erfahrungswerte auf die Randbedingungen in Unterschleißheim gut möglich war.

Da sich zeitgleich immer nur zwei Fahrzeuge in Betrieb befinden, werden nur für zwei Fahrzeuge Personalkosten angesetzt. Die Personalkosten pro Fahrzeug belaufen sich auf ca. 120.000 € pro Jahr. Hierin sind alle Personalkosten für das Begleitpersonal enthalten, auch z.B. die Kosten für Urlaubsvertretungen etc.

Die Fahrzeugkosten beinhalten Anschaffungs-, Betriebs- und Wartungskosten. Es wird ein Abschreibungszeitraum von 5 Jahren angesetzt. Pro Bus wird von jährlichen Fahrzeugkosten in Höhe von ca. 160.000 € ausgegangen. Zusammenfassend kann jährlich von insgesamt ca. 720.000 € für den Betrieb der Shuttles für beide Anwendungsfälle ausgegangen werden.

	Fahrzeug 1	Fahrzeug 2	Fahrzeug 3	
	Business Campus	„Am Weiher“	Wechselfahrzeug	Summe
Personal €/Jahr:	120.000 €	120.000 €	0 €	240.000 €
Fahrzeug €/Jahr:	160.000 €	160.000 €	160.000 €	480.000 €
Gesamt €/Jahr:	280.000 €	280.000 €	280.000 €	720.000 €

**Tabelle 14 Kostenschätzung Jahreskosten Shuttles
(Investition, Wartung, Betrieb, Personal)**

Neben den Fahrzeugen und dem Personal muss auch die Infrastruktur zum Betrieb der Shuttles vorgesehen werden. Diese umfasst im Wesentlichen die Einrichtung von zwei Ladestationen, um ein Laden über Nacht zu ermöglichen. Die Investitionskosten pro Ladesäule werden auf ca. 35.000 € geschätzt. Somit ergeben sich zusätzliche Investitionskosten von 70.000 €.

Weitere Kosten entstehen für zusätzliche Installationen von Sensoren in der Infrastruktur (u.a. Kommunikation mit der LSA, ggf. weitere Sensoren zur Überwachung des Straßenumfeldes im Knotenpunktbereich) sowie notwendige Anpassungen der Lichtsignalsteuerung an den betroffenen LSA. Die Aufwände zur Installation der Infrastruktursensorik sind sehr spezifisch und stark

standortabhängig. Eine zuverlässige Schätzung ist an dieser Stelle nicht möglich. Es sollte jedoch von mindestens weiteren 100.000 € ausgegangen werden.

Unter Berücksichtigung dieser Kostenanteile ist im ersten Betriebsjahr mit Kosten in Höhe von mindestens 890.000 € zu rechnen (siehe Tabelle 15).

	Gesamtkosten
Investition und Betrieb Fahrzeug (für 3 Fahrzeuge inkl. Wartung und Service)	480.000 €
Investition Ladeinfrastruktur (2 Ladestationen)	70.000 €
Anpassung Straßeninfrastruktur (RSU an den Lichtsignalanlagen, Sensoren zur Umfeldüberwachung, Anpassung LSA-Steuerung)	100.000 €
Personalkosten (Sicherheitsfahrer*in inkl. Personalreserve)	240.000 €
Gesamtkosten für das erste Betriebsjahr	890.000 €

Tabelle 15 Kostenschätzung für die Investition und den Betrieb der Shuttles im ersten Jahr

7 Zusammenfassung und Fazit

7.1 Zusammenfassung

Für die Machbarkeit eines Pilotprojektes zum automatisierten Fahren in Unterschleißheim wurden zunächst die grundlegenden Voraussetzungen in technischer, organisatorischer und rechtlicher Sicht zusammengestellt. Das Angebot auf dem Markt vorhandener Fahrzeuge lässt derzeit einen autonomen Betrieb eines Shuttles nicht zu. Unter anderem aufgrund des komplexen Umfeldes im öffentlichen Verkehrsraum ist ein autonomer Betrieb ohne Sicherheitsfahrer*in derzeit rechtlich nicht zulässig. Diese menschliche „Rückfallebene“ wird auch in Unterschleißheim für eine Betriebsgenehmigung verpflichtend notwendig sein. Die Fahrzeuge befinden sich in einer stetigen Weiterentwicklung und die autonomen Fahrfunktionen werden kontinuierlich verbessert. Die Zulassung autonomer Shuttles im öffentlichen Straßenraum ist bisher weiterhin an Ausnahmegenehmigungen geknüpft, die jeweils anwendungsbezogene Gutachten zum verwendeten Fahrzeug sowie den vorgesehenen Strecken voraussetzen. In diesem Zusammenhang wird im Rahmen des „Gesetzesentwurf zum autonomen Fahren sowie über eine Verordnung zur Genehmigung und zum Betrieb von Kraftfahrzeugen mit autonomer Fahrfunktion in festgelegten Betriebsbereichen“ über eine Änderung des Zulassungsverfahrens autonomer Fahrzeuge diskutiert.

Zur Unterstützung der Anwendung autonomer Shuttles im städtischen Verkehrsumfeld wird neben der fahrzeugseitigen Sensorik eine Unterstützung durch infrastrukturbasierte Sensorik (im Wesentlichen zur Verbesserung der Informationsbasis für Entscheidungen des Shuttles im Umfeld von Knotenpunkten) als zielführend angesehen. Hier laufen derzeit verschiedene Projekte, die die prinzipielle Nutzbarkeit untersuchen. Es ist zu erwarten, dass die Einsatzwahrscheinlichkeit und -häufigkeit autonomer Shuttles umso größer sein wird, je weniger straßenseitige Infrastruktur bereitgestellt werden muss. Je mehr die Fahrzeuge mittels eigener Sensorik leisten können, desto wahrscheinlicher wird ein breiter Einsatz.

Der Einsatz im Linienbetrieb ist mit entsprechenden Pflichten gemäß PBefG (§ 21 - Betriebspflicht und § 22 - uneingeschränkte Beförderungspflicht) derzeit aufgrund der noch in Weiterentwicklung befindlichen Fahrzeugtechnik und den damit verbundenen Ausfallrisiken nicht ohne Berücksichtigung eines Ersatzfahrzeuges (i. d. R. ein konventionelles Verbrennerfahrzeug) darstellbar.

Für den Einsatz autonomer Shuttlefahrzeuge in Unterschleißheim wurden zwei Anwendungsfälle untersucht. Neben der Anbindung des Business Campus an den S-Bahnhof Unterschleißheim im Pendelbetrieb wurden verschiedene Anbindungen und Streckenführungen einzelner Siedlungsgebiete analysiert. Unter Berücksichtigung der Beurteilungskategorien „betriebliche

Randbedingungen E-Shuttle“, „Randbedingungen ÖV-Betrieb allgemein“, „Vergleich mit bestehendem/geplanten ÖV-Angebot“ und „Nutzerpotenzial“, konnte die Siedlung „Am Weiher“ als mögliches Erschließungsgebiet für ein autonomes Shuttle als geeignet eingeschätzt. Insbesondere der Fahrzeitvergleich zwischen dem E-Shuttle der bestehenden Buslinie 218 bis zur Haltestelle Landshuter Straße zeigt, dass durch die Anbindung mit einem E-Shuttle, eine durchaus konkurrenzfähige Alternative zum bestehenden ÖPNV-Angebot geschaffen werden kann, zumal die vorhandene Buslinie die Siedlung nur am äußeren Rand erschließt. Neben dem besseren ÖPNV-Angebot für die Siedlung selbst, ergibt sich auch für das Naherholungsgebiet Unterschleißheimer See, welches von der vorgesehenen Endhaltestelle Am Weiher fußläufig erreichbar ist, eine Verbesserung der ÖPNV-Anbindung.

Für beide Anwendungsfälle „Business Campus“ und Siedlung „Am Weiher“ wurden Online-Befragungen zur Einschätzung des Nutzerpotenzials und der Akzeptanz eines autonomes Shuttles durchgeführt. Sowohl bei den Unternehmen und Mitarbeitern am Business Campus als auch bei den Bewohnern der Siedlung „Am Weiher“ konnte eine positive Einstellung gegenüber dem Thema autonomes Shuttle und eine entsprechend hohe Nutzeraffinität festgestellt werden. Das Nachfragepotential für einen autonomen Shuttleservice ist unter den getroffenen Annahmen zur modalen Verlagerung als sehr hoch anzusehen.

Aufbauend auf den Erkenntnissen zum Nachfragepotential wurde im Rahmen einer Betriebssimulation für den On-Demand-Betrieb die Anzahl notwendiger Shuttlefahrzeuge unter Verwendung verschiedener Szenarien ermittelt, um die zu erwartende Nachfrage zu bedienen. Es zeigt sich, dass je nach Szenario mindestens 2-3 Shuttle notwendig sind, um die „Basis-Nachfrage“ in den Nebenverkehrszeiten bedienen zu können. Für eine Abdeckung der zu erwartenden Nachfrage zu den Spitzenzeiten morgens (7 Uhr bis 9 Uhr) und abends (16 Uhr bis 18 Uhr) wären entsprechend bis zu 10 Shuttles notwendig.

Für eine Grundversorgung der Basis-Nachfrage wird zur Einführung eines autonomen Shuttles für die beiden vorgesehenen Anwendungsfälle zunächst ein Linienverkehr mit festem Fahrplan als geeigneter angesehen. Hierfür wurde ein auf den S-Bahn-Fahrplan abgestimmter Linienbetrieb mit einer Betriebszeit von 6 Uhr bis 20 Uhr betrachtet und eine Grobkostenschätzung der Investitions- und Betriebskosten aufgestellt. Unter der Annahme des Einsatzes von 2 Shuttles (und einem zusätzlichen Wechselfahrzeug) muss hierfür für das erste Jahr mit Kosten in Höhe von ca. 890.000 €, in den Folgejahren mit durchschnittlichen jährlichen Kosten von ca. 720.000 € gerechnet werden.

7.2 Fazit

Unter Berücksichtigung der vorliegenden Erkenntnisse ist der Einsatz eines autonomen Shuttles in Unterschleißheim derzeit nur im Rahmen eines geförderten Projektes (mit entsprechendem Forschungshintergrund) zu empfehlen. Der Betrieb eines autonomen Shuttles im regulären Linienbetrieb wird nicht empfohlen.

Mögliche Fördermittelgeber können sowohl der Freistaat Bayern (über das Bayerische Staatsministerium für Wohnen, Bau und Verkehr - StMB) als auch der Bund (Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur - BMVI) sein. Für ein derartiges Projekt sollte zur Begründung der Förderfähigkeit eine Weiterentwicklung der Anwendung von E-Shuttles als Aufgabenstellung dargestellt werden. Aus dem Austausch mit Experten und basierend auf den Erfahrungen bereits laufender Forschungs- und Förderprojekte im Bereich autonome Shuttles werden als mögliche Forschungsziele eines Förderprojektes folgende Punkte gesehen:

- Welches Maß an Infrastruktur Ausstattung ist für ein autonomes Fahren ohne Operator im jeweiligen Anwendungsfeld notwendig?
- Welche Möglichkeiten bestehen zur Steigerung der Betriebsgeschwindigkeit?

In diesem Zusammenhang sind neben Betreiber und vor allem neue Fahrzeughersteller, die in diesem Zusammenhang ihre Fahrzeuge im Reallabor weiterentwickeln können, auch Systemhersteller der unterstützenden Infrastruktur (z.B. Sensorik, Kommunikation mit Lichtsignalanlagen), wie SIEMENS oder auch SWARCO, als Projektpartner relevant. Im Zuge der geführten Experteninterviews hat die DB Regio Bus als Betreiber von verschiedenen autonomen Shuttle-Angeboten bereits Interesse geäußert an einem Förderprojekt teilzunehmen.

Als weitere Planungsschritte sollten daher in Abstimmung mit den genannten potenziellen Kooperationspartnern (DB Regio Bus, Siemens, Swarco) die Überlegungen für eine Forschungsskizze vorangetrieben werden.

Quellenverzeichnis

2GETTHERE [2018a]: Vehicle Types.

<https://www.2getthere.eu/category/vehicles/> (31.07.2020)

2GETTHERE [2018b]: We deliver the future, today.

<https://www.2getthere.eu/> (18.07.2020)

AINSALU, J.; ARFFMAN, V.; BELLONE, M.; ELLNER, M.; HAAPAMÄKI, T.; HAAVISTO, N.; JOSEFSON, E.; ISMAIOGULLARI, A.; LEE, B.; MADLAND, O.; MADZULIS, R.; MÜÜR, J.; MÄKINEN, S.; NOUSIAINEN, V.; PILLI-SIHVOLA, E.; RUTANEN, E.; SAHALA, S.; SCHONFELD, B.; SMOLNICKI, P.M.; SOE, R.-M.; SÄÄSKI, J.; SZYMANSKA, M.; VASKINN, I.; AMAN, M. [2018]: State of the Art of Automated Buses, Sustainability. <https://www.mdpi.com/2071-1050/10/9/3118> (29.07.2020)

ANTONIALLI, F. [2019]: International benchmark on experimentations with Autonomous Shuttles for Collective Transport. France. In: *27th International Colloquium of Gerpisa*. <https://hal-centralesupelec.archives-ouvertes.fr/hal-02489797> (03.07.2020)

BARNARD, M. [2016]: Tesla & Google Disagree About LIDAR - Which Is Right?

<https://cleantechnica.com/2016/07/29/tesla-google-disagree-lidar-right/> (29.07.2020)

BECHER, G.; GERRES, S.; ALTENBURG, S.; GRÜNDEL, T.; NAGEL, I.; GRAWENHOFF, S.; VIERKÖTTER, M.; ERNSTHALER, J. [2015]: Automatisiert.Vernetzt.Elektrisch. Potenziale innovativer Mobilitätslösungen für Baden-Württemberg

BERLINER VERKEHRSBETRIEBE [2020]: Das Projekt See-Meile. Fast so sauber wie rudern. Nur nicht so anstrengend.

<https://www.see-meile.com> (19.07.2020)

BERSCHET, T.; BOORN, W.; KLESHINSKI, N.; KRATOVILLE, K.; LEMPKE, J. [2017]: Feasibility of Electric Autonomous Shuttles in Easton.

BROGGI, A.; BUZZONI, M.; DEBATTISTI, S.; GRISLERI, P.; LAGHI, M.C.; MEDICI, P.; VERSARI, P. [2013]: Extensive Tests of Autonomous Driving Technologies. In: *IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems*, 14, S. 1403–1415

BU, F.; TAN, H.-S. [2005]: Precision Stopping Control of Automated Bus with Pneumatic Brake System. In: *International Conference on Advanced Intelligent Mechatronics Monterey, California, USA, 24-28 July, 2005*.

https://www.researchgate.net/profile/Fanping_Bu/publication/4170683_Precision_Stopping_Control_of_Automated_Bus_with_Pneumatic_Brake_System/links/0c96052176e6839c91000000.pdf (28.07.2020)

- BUNDESAMT FÜR SICHERHEIT IN DER INFORMATIONSTECHNIK (BSI) [2016], IT-Grundschutz-Kataloge.
15. Ergänzungslieferung 2016
https://download.gsb.bund.de/BSI/ITGSK/IT-Grundschutz-Kataloge_2016_EL15_DE.pdf
- DARMS, M.; RYBSKI, P.E.; URMSON, C. [2008]: Classification and Tracking of Dynamic Objects with Multiple Sensors for Autonomous Driving in Urban Environments. In: *IEEE Intelligent Vehicles Symposium*, 1197-1202.
- DERER, M. [2020]: Zusammenfassung der Forschungsergebnisse und Ausblick, In: *Riener, A. et al. (Hrsg.): Autonome Shuttlebusse im ÖPNV*
- DIERKES, F.; FRIEDRICH, B.; HEINRICH, T.; HOFFMANN, S.; MAURER, M.; RESCHKA, A.; SCHENDZIELORZ, T.; UNGUREANU, T.; VOGT, S. [2019]: Infrastrukturbedarf automatisierten Fahrens – Grundlagenprojekt. http://www.schuenemann-verlag.de/buchverlag/nwdownload/F130_barrfrELBA.pdf (11.08.2020). ISBN: 978-3-95606-486-9
- E.GO MOOVE [2019]: Produktinformationen.
<https://e-go-moove.com/site/assets/files/1290/broschuere-ego-mover-2019-02-07-the-druck-final3.pdf> (31.07.2020)
- EASYMILE [2020a]: Delivering Autonomous Mobility Solutions.
<https://easymile.com/company-easymile/> (13.07.2020)
- EASYMILE [2020b]: EZ10 Technical Specifications.
<https://easymile.com/solutions-easymileez10-autonomous-shuttle-easymile/> (14.07.2020)
- ENGELHARDT, R.; DANDL, F.; BILALI, A.; BOGENBERGER, K. [2019]: Quantifying the Benefits of Autonomous On-Demand Ride-Pooling: A Simulation Study for Munich, Germany. In: *2019 22nd IEEE Intelligent Transportation Systems Conference (ITSC)*. 2019 IEEE Intelligent Transportation Systems Conference - ITSC. Auckland, New Zealand: IEEE, S. 2992–2997.
- ENGELHARDT, R.; DANDL, F.; BOGENBERGER, K. [2020]: Speed-up Heuristic for an On-Demand Ride-Pooling Algorithm. arXiv:2007.14877
- ERSOY, M.; GIES, S. [2017]: Fahrwerkhandbuch. Grundlagen · Fahrdynamik · Fahrverhalten · Komponenten · Elektronische Systeme · Fahrerassistenz · Autonomes Fahren · Perspektiven. 978-3-658-15467-7
- EUROPÄISCHES PARLAMENT [2007]: Richtlinie 2007/46/EG Anhang II. Schaffung eines Rahmens für die Genehmigung von Kraftfahrzeugen und Kraftfahrzeuganhängern sowie von Systemen, Bauteilen und selbstständigen technischen Einheiten für diese Fahrzeuge.
<https://eur-lex.europa.eu/legal-content/DE/TXT/PDF/?uri=CELEX:32007L0046&from=DE> (03.08.2020)

- FRAUNHOFER IPM [2012]: Machbarkeitsstudie zur Entwicklung von Sensoren zur Erfassung des strukturellen Straßenzustands. Abschlussbericht.
https://www.bast.de/BAST_2017/DE/Publikationen/Fachveroeffentlichungen/Strassenbau/Downloads/gs3-studie-sensoren.pdf?__blob=publicationFile&v=1 (28.08.2020)
- GAYCKEN, S.; KARGER, M. [2011]: Entnetzung statt Vernetzung – Paradigmenwechsel bei der IT-Sicherheit, In: *Multimedia und Recht (MMR)*, 2011 Heft 1
- GRAYNED, J. [2014]: Taxonomy and Definitions for Terms Related to On-Road Motor Vehicle Automated Driving Systems, SAE International. 400 Commonwealth Drive, Warrendale, PA, United States
- HOFACKER, A. [2015]: NXP und Siemens arbeiten gemeinsam an einem intelligenten Verkehrsmanagement | [springerprofessional.de](https://www.springerprofessional.de).
<https://www.springerprofessional.de/automobil---motoren/nxp-und-siemens-arbeiten-gemeinsam-an-einem-intelligenten-verkeh/6589016> (29.08.2020)
- IAV [2019a]: HEAT - Presse-Information.
https://www.iav.com/app/uploads/2019/07/Faktenblatt_HEAT_Fahrzeugvorstellung-3.pdf (18.07.2020)
- IAV [2019b]: The HEAT is on. In: *Automotive Engineering-Fachmagazin*.
<https://www.iav.com/was-uns-bewegt/the-heat-is-on/> (18.07.2020)
- IAV [2020]: Automatisiertes Fahren – für mehr Service und Komfort | IAV.
<https://www.iav.com/was-uns-bewegt/automatisiertes-fahren-fuer-mehr-service-und-komfort/#> (18.07.2020)
- ICLODEAN, C.; CORDOS, N.; VARGA, B.O. [2020]: Autonomous Shuttle Bus for Public Transportation. A Review. In: *Energies*, 13, S. 2917.
<https://www.mdpi.com/1996-1073/13/11/2917> (28.07.2020)
- IOKI [2020]: Autonomes Fahren – die Mobilität der Zukunft.
<https://ioki.com/autonomes-fahren/> (19.07.2020)
- KNOTE, T.; HAUFE, B.; SAROCH, L. [2017]: »Ansätze zur Standardisierung und Zielkosten für Elektrobusse«. E-Bus-Standard.
https://www.erneuerbar-mobil.de/sites/default/files/2018-04/Abschlussbericht_E-Bus-Standard.pdf (26.08.2020)
- KOCIC, J.; JOVICIC, N.; DRNDAREVIC, V. [2018]: Sensors and Sensor Fusion in Autonomous Vehicles. In: *26th Telecommunications Forum (TELFOR)*.
<https://ieeexplore.ieee.org/document/8612054> (24.06.2020)

LANDRATSAMT MÜNCHEN [2020]: Fortschreibung des Nahverkehrsplans für den Landkreis München 2020

LOCAL MOTORS [2020a]: Meet Olli - Of moonshots and shuttles.
<https://localmotors.com/meet-olli/> (26.06.2020)

LOCAL MOTORS [2020b]: Olli - Rides Into The Future. A Local Motors Safety Report.
https://localmotors.com/wp-content/uploads/2019/09/LM_OL_0056_OlliSafetyReport_R4_100419-1.pdf (16.07.2020)

NAF-BUS [2020]: Projekt: Pläne, Partner, Orte.
<https://www.naf-bus.de/faq-1/> (19.07.2020)

NAVYA [2020]: Autonom Shuttle Evo.
<https://navya.tech/wp-content/uploads/documents/Brochure-Autonom-Shuttle-Evo-EN.pdf> (15.07.2020)

NEUER, O. [2018]: Smart Roads: Mehr Intelligenz und Sicherheit für die Verkehrsinfrastruktur.
<https://www.silicon.de/blog/smart-roads-mehr-intelligenz-und-sicherheit-fuer-die-verkehrsinfrastruktur> (28.08.2020)

PTV PLANUNG TRANSPORT VERKEHR AG [2019]: Voraussetzungen & Einsatzmöglichkeiten von automatisiert und elektrisch fahrenden (Klein-) Bussen im ÖPNV. Ergebnisse aus dem Forschungsvorhaben LEA (Klein-) Bus

REEB, W.; HÄRTER, H. [2020]: Der Status quo von Lidar in selbstfahrenden Autos. In: *next-mobility.news*.
<https://www.next-mobility.news/der-status-quo-von-lidar-in-selbstfahrenden-autos-a-836047/> (27.06.2020)

REINHARDT, W. [2012]: Öffentlicher Personennahverkehr. Technik – rechtliche und betriebswirtschaftliche Grundlagen, Vieweg+Teubner.
https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-8348-8234-9_11 (28.07.2020). 978-3-8348-1268-1

ROBERT BOSCH GMBH; UNIVERSITÄT ULM; UNIVERSITÄT DUISBURG-ESSEN [2020]: MEC-View Abschlusspräsentation. Überblick AP6 – Automatisiertes Fahrzeug.
https://www.uni-due.de/~hp0309/images/ergebnisse/MEC-View-AP6_Ueberblick.pdf (07.09.2020)

SCHULZ, S.; BERN, W.; SCRUDATO, M. [2017]: Thanks to digitalisation, artificial intelligence takes the wheel.

<https://www.munichre.com/topics-online/en/mobility-and-transport/artificial-intelligence-self-driving-bus.html> (28.06.2020)

SIEMENS [2020]: Die Digitalisierung der Straße. Sitraffic Vehicle2x.

<https://assets.new.siemens.com/siemens/assets/api/uuid:b3c06ef7-fd0f-4a5a-9c81-848421fc4841/sitraffic-vehicle2x-de-200316.pdf> (29.08.2020)

SIMTD [2015]: Fakten.

https://trimis.ec.europa.eu/sites/default/files/project/documents/20151005_141226_80386_simTD_factsheets_2013_de_web.pdf (13.08.2020)

STADT UNTERSCHLEIßHEIM [2020]: Einwohnerzahlen Stadtteile Unterschleißheim

VDV [2020]: Liste Autonome Shuttle-Bus-Projekte.

<https://www.vdv.de/liste-autonome-shuttle-bus-projekte.aspx> (19.07.2020)

VDA-MAGAZIN [2015]: Automatisierung – Von Fahrerassistenzsystemen zum automatisierten Fahren, VDA (Verband der Automobilindustrie e.V.), Berlin, 2015

ZF FRIEDRICHSHAFEN [2019]: ZF übernimmt Mehrheit beim Mobilitätsanbieter 2getthere - ZF.

Presseinformation.

https://press.zf.com/press/de/releases/release_4097.html (18.07.2020)

Anlagenverzeichnis

Anlage 1	Haushaltsbefragung „Am Weiher“ Unterschleißheim
Anlage 2	Unternehmensbefragung Business Campus
Anlage 3	Mitarbeiterbefragung Business Campus – deutsche Fassung
Anlage 4	Mitarbeiterbefragung Business Campus – englische Fassung
Anlage 5	Protokolle der Experteninterviews

Anlage 1 Haushaltsbefragung „Am Weiher“ Unterschleißheim

Haushaltsbefragung "Am Weiher" Unterschleißheim

Seite 1

Liebe Bewohnerinnen und Bewohner der Siedlung "Am Weiher",

der Landkreis München möchte neue Mobilitätsformen voranbringen und mit geeigneten Pilotprojekten testen. Die Stadt Unterschleißheim unterstützt diese Initiativen und möchte in Zusammenarbeit mit dem Landkreis München die Einführung eines autonomen E-Shuttle-Busangebots zwischen dem Business Campus und dem S-Bahnhof Unterschleißheim sowie zwischen der Siedlung "Am Weiher" und dem S-Bahnhof Unterschleißheim prüfen und konzipieren und hat dafür das Ingenieurbüro gevas humberg & partner aus München gemeinsam mit der TU München beauftragt.

Da Sie in der Siedlung "Am Weiher" leben, ist es uns wichtig, dass Sie sich als Bürgerinnen und Bürger an der Konzeption des autonomen E-Shuttle-Busangebots beteiligen und Ihre Meinung einbringen. Mit dieser Haushaltsbefragung möchten wir neben Ihrem allgemeinen Mobilitätsbedarf und Mobilitätsverhalten auch Ihre Meinung zum Thema autonomes Fahren ermitteln und Ihnen die Möglichkeit geben, uns an dieser Stelle Ihre Anmerkungen und Vorschläge zu diesem Thema mitzuteilen.

Die angedachte Streckenführung mit voraussichtlich fünf Haltestellen können Sie der nachfolgenden Karte entnehmen. Die mögliche Route führt vom S-Bahnhof Unterschleißheim zunächst über die Pegasusstraße, Münchner Ring und die Hauptstraße bis zur Haltestelle Berglstraße, von dort über in den Furtweg bis zur Haltestelle Ludwig-Thoma-Straße und dann zur Haltestelle Am Weiher. Von Am Weiher soll es in einem Bogen über den Fastlingerring (mit Haltestelle) zurück zum S-Bahnhof Unterschleißheim gehen.

Mögliche Streckenführung des E-Shuttle



Bitte beziehen Sie sich bei der Beantwortung der Fragen auf Ihr Mobilitätsverhalten VOR der Corona-Krise! Bitte geben Sie auch bei der Berufstätigkeit den Zustand vor der Corona-Krise an.

Selbstverständlich werden alle Daten anonym erhoben sowie nur für planerische Zwecke verwendet und alle datenschutzrechtlichen Bestimmungen eingehalten. Bei Fragen zum Thema Datenschutz oder für Rückfragen zum Fragebogen im Allgemeinen, wenden Sie sich gerne an gevas humberg & partner (Fr. Winzinger), Tel.: 089-4890850.

Wir freuen uns auf Ihre Anregungen und bedanken uns für Ihre Mithilfe!

Seite 2

Der erste Teil der Haushaltsbefragung beinhaltet statistische Fragen sowie Fragen zum Mobilitätsverhalten aller Haushaltsmitglieder ab 6 Jahren mit einem Schwerpunkt auf der Strecke zwischen der Siedlung "Am Weiher" und dem S-Bahnhof Unterschleißheim.

Der zweite Teil der Haushaltsbefragung bezieht sich auf generelle Faktoren bei der Wahl Ihres Verkehrsmittels sowie grundlegende Einschätzungen zum Thema "autonome Busse". (Es ist ausreichend, wenn diese Fragen von einer Person des Haushalts beantwortet werden.)

Wie viele Personen (ab 0 Jahren) leben in Ihrem Haushalt? *

(Auch Sie selbst!)

	Anzahl Personen
Personenzahl gesamt	
davon Personen unter 6 Jahren (1-5 Jahre)	

In welchem Jahr sind Sie geboren?
(nur für Personen ab 6 Jahren; Eltern können für ihre Kinder antworten)

	Person 1	Person 2	Person 3	Person 4	Person 5	Person 6
Geburtsjahr						

Seite 3

Wie viele der folgenden Fahrzeuge gibt es in Ihrem Haushalt?

Anzahl Autos (inkl. Kombi, Van)	
Anzahl Fahrräder	
Anzahl Motorräder / -roller / Mofas	
Anzahl Pedelecs/E-Bikes	

Seite 4

Besitzen Sie einen Führerschein?

[illegible]

Besitzen Sie eine Zeitkarte für den ÖV?

(z.B. Schüler-, Wochen-, Monats-, Jahreskarte)

[illegible]**Seite 5**

Welches Verkehrsmittel nutzen Sie in der Regel an einem durchschnittlichen Werktag (Montag bis Freitag)?

(Mehrfachauswahl möglich)

[illegible]

Berufstätigkeit / Ausbildung

(Bitte beziehen Sie sich bei Ihrer Angabe auf die Zeit vor der Corona-Krise)

	Person 1	Person 2	Person 3	Person 4	Person 5	Person 6
Vollzeit erwerbstätig	☐	☐	☐	☐	☐	☐
Vollzeit erwerbstätig im Home Office	☐	☐	☐	☐	☐	☐
Teilzeit / geringfügig erwerbstätig (11-35 Stunden/Woche)	☐	☐	☐	☐	☐	☐
Teilzeit / geringfügig erwerbstätig im Home Office	☐	☐	☐	☐	☐	☐
vorübergehend freigestellt (z. B. Erziehungs-, Mutterschaftsurlaub)	☐	☐	☐	☐	☐	☐
arbeitslos / arbeitssuchend	☐	☐	☐	☐	☐	☐
Auszubildende(r), Umschüler(in)	☐	☐	☐	☐	☐	☐
Schüler(in)	☐	☐	☐	☐	☐	☐
Student(in)	☐	☐	☐	☐	☐	☐
Hausfrau/Hausmann	☐	☐	☐	☐	☐	☐
Rentner(in)/Pensionär(in)	☐	☐	☐	☐	☐	☐
Wehr- oder Bundesfreiwilligendienst	☐	☐	☐	☐	☐	☐

Seite 7

Müssen Sie und/oder eine Person aus Ihrem Haushalt an einem durchschnittlichen Werktag (Montag bis Freitag) zum S-Bahnhof Unterschleißheim?

☐ ja

☐ nein

Wie viele Wege machen Sie an einem durchschnittlichen Werktag und mit welchem Verkehrsmittel zwischen Ihrer Wohnung und dem S-Bahnhof Unterschleißheim?

Ein Beispiel:

Sie fahren mehrmals pro Woche mit dem Fahrrad zum S-Bahnhof Unterschleißheim um von dort mit der S-Bahn nach München zur Arbeit zu fahren. Am Abend fahren Sie vom S-Bahnhof Unterschleißheim wieder zurück nach Hause.

Für Sie ergibt dies die folgende Anzahl an Wegen:

Fahrrad: 2

(Bitte nennen Sie uns pro Person die Anzahl der Wege je Verkehrsmittel an einem durchschnittlichen Werktag.)

[illegible]

Zu welcher Uhrzeit fahren Sie in der Regel an einem durchschnittlichen Werktag von Ihrer Wohnung Richtung S-Bahnhof Unterschleißheim?

(Bitte nennen Sie uns pro Person die Uhrzeit wann Sie Richtung S-Bahnhof Unterschleißheim starten.)

[illegible]

Zu welcher Uhrzeit fahren Sie in der Regel an einem durchschnittlichen Werktag vom S-Bahnhof Unterschleißheim zu Ihrer Wohnung?

(Bitte nennen Sie uns pro Person die Uhrzeit wann Sie vom S-Bahnhof Unterschleißheim Richtung Zuhause starten.)

	Person 1	Person 2	Person 3	Person 4	Person 5	Person 6
vor 6 Uhr	☐	☐	☐	☐	☐	☐
6-9 Uhr	☐	☐	☐	☐	☐	☐
9-12 Uhr	☐	☐	☐	☐	☐	☐
12-14 Uhr	☐	☐	☐	☐	☐	☐
14- 16 Uhr	☐	☐	☐	☐	☐	☐
16-18 Uhr	☐	☐	☐	☐	☐	☐
18-20 Uhr	☐	☐	☐	☐	☐	☐
nach 20 Uhr	☐	☐	☐	☐	☐	☐

Seite 10

Müssen Sie und/oder eine Person aus Ihrem Haushalt an einem durchschnittlichen Samstag zum S-Bahnhof Unterschleißheim?

☐ ja

☐ nein

Wie viele Wege machen Sie an einem durchschnittlichen Samstag und mit welchem Verkehrsmittel zwischen Ihrer Wohnung und dem S-Bahnhof Unterschleißheim?

Ein Beispiel:

Sie fahren in der Regel jeden Samstagvormittag mit dem Auto zum S-Bahnhof Unterschleißheim um jemanden von der S-Bahn abzuholen. Am Abend fahren Sie die Person wieder zurück zum S-Bahnhof Unterschleißheim und dann wieder zurück nach Hause.

Für Sie ergibt dies die folgende Anzahl an Wegen:

Auto als Selbstfahrer: 3

(Bitte nennen Sie uns pro Person die Anzahl der Wege je Verkehrsmittel an einem durchschnittlichen Samstag.)

	Person 1	Person 2	Person 3	Person 4	Person 5	Person 6
zu Fuß						
Auto als Fahrer						
Auto als Mitfahrer						
Motorrad / Roller						
Fahrrad						
Pedelec / E-Bike						
Bus						

Zu welcher Uhrzeit fahren Sie in der Regel an einem durchschnittlichen Samstag von Ihrer Wohnung in Richtung S-Bahnhof Unterschleißheim?

(Bitte nennen Sie uns pro Person die Uhrzeit wann Sie Richtung S-Bahnhof Unterschleißheim starten.)

[illegible]

Zu welcher Uhrzeit Fahren Sie in der Regel an einem durchschnittlichen Samstag vom S-Bahnhof Unterschleißheim zu Ihrer Wohnung?

(Bitte nennen Sie uns pro Person die Uhrzeit wann Sie vom S-Bahnhof Unterschleißheim Richtung Zuhause starten.)

[illegible]

Müssen Sie und/oder eine Person aus Ihrem Haushalt an einem durchschnittlichen Sonntag zum S-Bahnhof Unterschleißheim?

○ ja

☐ nein

Wie viele Wege machen Sie an einem durchschnittlichen Sonntag und mit welchem Verkehrsmittel zwischen Ihrer Wohnung und dem S-Bahnhof Unterschleißheim?

Ein Beispiel:

Sie fahren in der Regel jeden Sonntagabend mit dem Auto zum S-Bahnhof Unterschleißheim um ein Mitglied Ihres Haushalts zur S-Bahn zu bringen. Anschließend fahren Sie wieder zurück nach Hause.

Für Sie ergibt dies die folgende Anzahl an Wegen:

Auto als Selbstfahrer: 2

(Bitte nennen Sie uns pro Person die Anzahl der Wege je Verkehrsmittel an einem durchschnittlichen Sonntag.)

[illegible]

Zu welcher Uhrzeit fahren Sie in der Regel an einem durchschnittlichen Sonntag von Ihrer Wohnung Richtung S-Bahnhof Unterschleißheim?

(Bitte nennen Sie uns pro Person die Uhrzeit wann Sie Richtung S-Bahnhof Unterschleißheim starten.)

	Person 1	Person 2	Person 3	Person 4	Person 5	Person 6
vor 6 Uhr	☐	☐	☐	☐	☐	☐
6-9 Uhr	☐	☐	☐	☐	☐	☐
9-12 Uhr	☐	☐	☐	☐	☐	☐
12-14 Uhr	☐	☐	☐	☐	☐	☐
14- 16 Uhr	☐	☐	☐	☐	☐	☐
16-18 Uhr	☐	☐	☐	☐	☐	☐
18-20 Uhr	☐	☐	☐	☐	☐	☐
nach 20 Uhr	☐	☐	☐	☐	☐	☐

Zu welcher Uhrzeit Fahren Sie in der Regel an einem durchschnittlichen Sonntag vom S-Bahnhof Unterschleißheim zu Ihrer Wohnung?

(Bitte nennen Sie uns pro Person die Uhrzeit wann Sie vom S-Bahnhof Unterschleißheim Richtung Zuhause starten.)

	Person 1	Person 2	Person 3	Person 4	Person 5	Person 6
vor 6 Uhr	☐	☐	☐	☐	☐	☐
6-9 Uhr	☐	☐	☐	☐	☐	☐
9-12 Uhr	☐	☐	☐	☐	☐	☐
12-14 Uhr	☐	☐	☐	☐	☐	☐
14- 16 Uhr	☐	☐	☐	☐	☐	☐
16-18 Uhr	☐	☐	☐	☐	☐	☐
18-20 Uhr	☐	☐	☐	☐	☐	☐
nach 20 Uhr	☐	☐	☐	☐	☐	☐

Die folgenden Fragen beziehen sich auf generelle Faktoren bei der Wahl Ihres Verkehrsmittels sowie grundlegende Einschätzungen zum Thema "autonome Busse".

(Es ist ausreichend, wenn diese Fragen von einer Person des Haushalts beantwortet werden.)

Welche Aspekte sind Ihnen bei der Wahl Ihres Verkehrsmittels am wichtigsten?

Sortieren Sie bitte die genannten Aspekte hinsichtlich der Wichtigkeit (1 = am wichtigsten; 9 = am unwichtigsten)

- Flexibilität
- Spaß am Fahren
- Kosten
- Zuverlässigkeit
- Sicherheit
- Umweltverträglichkeit
- Fahrtzeit
- Komfort
- moderne Technik

Seite 17



Quelle: Deutsche Bahn AG

Haben Sie einen autonomen Bus wie oben abgebildet schon einmal gesehen?

- ☐ nein
- ☐ ja, aber nur in den Medien (Zeitung, Fernsehen, Internet etc.)
- ☐ ja, ich habe so einen Bus in echt gesehen
- ☐ ja, ich bin sogar schon damit gefahren
- ☐ weiß ich nicht

Welche Aspekte assoziieren Sie am ehesten mit autonomen Bussen?

Mehrfachauswahl möglich (maximal 3 Antworten)

- ☐ Innovation
 - ☐ Neugierde
 - ☐ Zukunft
 - ☐ Misstrauen
 - ☐ Angst
 - ☐ Faszination
 - ☐ sonstiges

Seite 19

Bewerten Sie bitte die folgenden Aussagen

Autonome Kleinbusse...

[illegible]

Bewerten Sie bitte die folgenden Aussagen

	stimme sehr zu	stimme eher zu	weder noch	stimme eher nicht zu	stimme gar nicht zu	weiß ich nicht
Ich kann mir grundsätzlich vorstellen mit einem autonomen Bus zu fahren.	☐	☐	☐	☐	☐	☐
Ich würde meinem Grundschulkind erlauben einen autonomen Bus für den Schulweg zu nutzen.	☐	☐	☐	☐	☐	☐
Die Erschließung der Siedlung "Am Weiher" mit einer autonomen Buslinie wertet das Wohngebiet auf.	☐	☐	☐	☐	☐	☐
Ich habe ein ungutes Gefühl alleine (ohne Fahrpersonal) mit Fremden in einen autonomen Bus zu steigen.	☐	☐	☐	☐	☐	☐

Seite 20

Bewerten Sie bitte die folgenden Aussagen

	stimme sehr zu	stimme eher zu	weder noch	stimme eher nicht zu	stimme gar nicht zu	weiß ich nicht
Die Einrichtung einer autonomen Buslinie zwischen der Siedlung "Am Weiher" und dem S-Bahnhof Unterschleißheim finde ich im Allgemeinen sinnvoll.	☐	☐	☐	☐	☐	☐
Durch eine bessere ÖV-Anbindung der Siedlung "Am Weiher" kann ich mir vorstellen, den ÖV häufiger zu nutzen.	☐	☐	☐	☐	☐	☐

Welche Voraussetzungen müssen erfüllt sein, dass Sie autonome Kleinbusse für den Weg zwischen Ihrer Wohnung und dem S-Bahnhof Unterschleißheim nutzen würden.

Mehrfachauswahl möglich (maximal 5 Antworten)

- ☐ ich möchte autonome Busse nicht nutzen
- ☐ die Nutzung des autonomen Kleinbusses müsste in den MVV-Tarif integriert sein
- ☐ die Taktdichte des Angebotes müsste auf den S-Bahn-Fahrplan abgestimmt sein
- ☐ die Reisezeit des autonomen Busses sollte nicht länger sein als die Reisezeit mit gängigen Verkehrsmitteln des ÖPNV
- ☐ es sollte eine ausführliche Einführung zur Nutzung des autonomen Kleinbusses stattfinden
- ☐ autonome Busse müssten sich bereits in anderen Städten etabliert haben
- ☐ sonstiges

Haben Sie weitere Anmerkungen zum Thema "autonome Kleinbusse"?

Die Umfrage ist beendet. Vielen Dank für Ihre Teilnahme.

Das Fenster kann nun geschlossen werden.

Anlage 2 Unternehmensbefragung Business Campus

Unternehmensbefragung auf dem Areal des Business Campus München : Unterschleißheim

Seite 1

Sehr geehrte Damen und Herren,

die Stadt Unterschleißheim hat das Ingenieurbüro gevas humberg & partner aus München gemeinsam mit der TU München mit der Prüfung und Konzeption eines autonomen E-Shuttle-Busangebots zwischen Business Campus und S-Bahnhof Unterschleißheim beauftragt. Die Strecke wurde ausgewählt, weil der Business Campus mit vielen Arbeitnehmern zum einen ein hohes Nutzerpotential dargestellt und zum anderen die Strecke Unterschleißheim S-Bahn (West-Seite) und Business Campus optimal geeignet ist. Wichtig ist uns, dass Sie sich als Unternehmen des Business Campus an der Konzeption des autonomen E-Shuttle Busangebots beteiligen und Ihre Meinung einbringen. Mit dieser Umfrage zum Thema "autonomes E-Shuttle" möchten wir den Bedarf für ein autonomes E-Shuttle ermitteln und Ihnen die Möglichkeit für Hinweise und Vorschläge geben.

Selbstverständlich werden alle Daten anonym behandelt sowie nur für planerische Zwecke verwendet und alle datenschutzrechtlichen Bestimmungen eingehalten. Bei Fragen zum Thema Datenschutz oder für Rückfragen zum Fragebogen im Allgemeinen, wenden Sie sich gerne an gevas humberg & partner (Fr. Winzinger), Tel.: 089-4890850.

Wir freuen uns auf Ihre Anregungen und bedanken uns für Ihre Mithilfe!

Seite 2

Bitte nennen Sie uns den Namen Ihres Unternehmens: *

In welcher Branche ist Ihr Unternehmen tätig?

Seite 3

Wie viele Mitarbeiter arbeiten in Ihrem Unternehmen am Standort Business Campus? *

- ☐ weniger als 10
- ☐ zwischen 10 und 25
- ☐ zwischen 25 und 50
- ☐ zwischen 50 und 100
- ☐ mehr als 100

Seite 4

Wann ist üblicherweise der Arbeitsbeginn Ihrer Mitarbeiter?

Bei Gleitzeitmodellen bitte einen geschätzten Mittelwert angeben

Bitte wählen... ▼

Falls Ihre Mitarbeiter im Schichtbetrieb arbeiten und deren üblicher Arbeitsbeginn vor 05:00 Uhr oder nach 11:00 Uhr ist, geben Sie bitte deren Schichtbeginn bzw. üblichen Arbeitsbeginn an.

Wann verlassen Ihre Mitarbeiter üblicherweise den Business Campus?

Bei Gleitzeitmodellen bitte einen geschätzten Mittelwert angeben

Bitte wählen... ▼

Falls Ihre Mitarbeiter im Schichtbetrieb arbeiten und den Business Campus üblicherweise vor 13:00 Uhr oder nach 20:00 Uhr verlassen, geben Sie bitte deren Schichtende an. bzw. wann sie den Business Campus verlassen.

Seite 5

Haben Ihre Mitarbeiter die Möglichkeit Ihren Pkw am Business Campus während der Arbeitszeit abzustellen?

- ☐ ja, firmeneigene Stellplätze können genutzt werden
- ☐ ja, kostenfreie Stellplätze auf dem Gelände des Business Campus können genutzt werden
- ☐ ja, nur Stellplätze gegen Gebühr können genutzt werden
- ☐ nein

Seite 6

Gibt es in Ihrem Unternehmen die Möglichkeit eines Job-Ticket-Abonnements für Ihre Mitarbeiter?

- ☐ ja
- ☐ nein
- ☐ weiß ich nicht

Seite 7

Welche Bedeutung hat für Ihr Unternehmen die Erreichbarkeit für Kunden am Business Campus?

	von hoher Relevanz	von Relevanz	weder noch	von geringer Relevanz	von keiner Relevanz
Bedeutung der Erreichbarkeit mit dem ÖPNV	☐	☐	☐	☐	☐
Bedeutung der Erreichbarkeit mit dem Pkw	☐	☐	☐	☐	☐
Bedeutung der Erreichbarkeit mit dem Fahrrad	☐	☐	☐	☐	☐

Seite 8

Bewerten Sie bitte die folgenden Aussagen

[illegible]

Seite 9

Welche Voraussetzungen müssen aus Ihrer Sicht erfüllt sein, dass Ihre Mitarbeiter autonome Kleinbusse für den Weg zum Business Campus nutzen würden.

Mehrfachnennung (maximal 5 Antworten)

- ☐ unsere Mitarbeiter würden mit autonomen Kleinbussen nicht fahren.
- ☐ die Nutzung des autonomen Kleinbusses müsste in den MVV-Tarif integriert sein
- ☐ die Taktdichte des Angebotes müsste auf den S-Bahn-Fahrplan abgestimmt sein
- ☐ die Reisezeit des autonomen Busses sollte nicht länger sein als mit der vorhandenen Busverbindung
- ☐ autonome Busse müssten sich auch in anderen Städten etabliert haben
- ☐ sonstiges

Seite 10

Haben Sie weitere Anmerkungen zum Thema "autonome Kleinbusse"?

Die Umfrage ist beendet. Vielen Dank für die Teilnahme.

Das Fenster kann nun geschlossen werden.

Anlage 3 Mitarbeiterbefragung Business Campus – deutsche Fassung

Mitarbeiterbefragung auf dem Areal des Business Campus München : Unterschleißheim

Bitte wählen Sie eine Sprache aus. / Please choose a language.



Deutsch



English

Seite 1

Liebe Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter auf dem Areal des Business Campus München : Unterschleißheim,

die Stadt Unterschleißheim hat das Ingenieurbüro gevas humberg & partner aus München gemeinsam mit der TU München mit der Prüfung und Konzeption eines autonomen E-Shuttle-Busangebots zwischen Business Campus und S-Bahnhof Unterschleißheim beauftragt. Die Strecke wurde ausgewählt, weil der Business Campus mit vielen Arbeitnehmern zum einen ein hohes Nutzerpotential dargestellt und zum anderen die Strecke Unterschleißheim S-Bahn (West-Seite) und Business Campus optimal geeignet ist. Wichtig ist uns, dass Sie sich als Mitarbeiter des Business Campus an der Konzeption des autonomen E-Shuttle Busangebots beteiligen und Ihre Meinung einbringen. Mit dieser Umfrage zum Thema "autonomes E-Shuttle" möchten wir den Bedarf für ein autonomes E-Shuttle ermitteln und Ihnen die Möglichkeit für Hinweise und Vorschläge geben. Ihre Bewertung bzw. Ihre Antworten zu den folgenden Fragen sollten sich auf Ihr Mobilitätsverhalten vor der Corona-Krise beziehen.

Selbstverständlich werden alle Daten anonym behandelt sowie nur für planerische Zwecke verwendet und alle datenschutzrechtlichen Bestimmungen eingehalten. Bei Fragen zum Thema Datenschutz oder für Rückfragen zum Fragebogen im Allgemeinen, wenden Sie sich gerne an gevas humberg & partner (Fr. Winzinger), Tel.: 089-4890850.

Wir freuen uns auf Ihre Anregungen und bedanken uns für Ihre Mithilfe!

Seite 2

Die ersten Fragen beziehen sich auf generelle Faktoren bei der Wahl Ihres Verkehrsmittels sowie grundlegende Einschätzungen zum Thema "autonome Busse".

Im Anschluss daran werden die Randbedingungen für Ihren Weg zum Business Campus abgefragt.

Welche Aspekte sind Ihnen bei der Wahl Ihres Verkehrsmittels am wichtigsten?

Sortieren Sie bitte die genannten Aspekte hinsichtlich der Wichtigkeit (1 = am wichtigsten; 9 = am unwichtigsten)

Umweltverträglichkeit

moderne Technik

Sicherheit

Flexibilität

Fahrtzeit

Zuverlässigkeit

Komfort

Spaß am Fahren

Kosten



Quelle: Deutsche Bahn AG

Haben Sie einen autonomen Bus wie oben abgebildet schon einmal gesehen?

- ☐ nein
- ☐ ja, aber nur in den Medien (Zeitung, Fernsehen, Internet etc.)
- ☐ ja, ich habe so einen Bus in echt gesehen
- ☐ ja, ich bin sogar schon damit gefahren
- ☐ ich weiß nicht

Welche Aspekte assoziieren Sie am ehesten mit autonomen Bussen?

Mehrfachauswahl möglich (maximal 3 auswählen)

- ☐ Faszination
 - ☐ Neugierde
 - ☐ Zukunft
 - ☐ Angst
 - ☐ Innovation
 - ☐ Misstrauen
 - ☐ sonstiges

Seite 3

Bewerten Sie bitte die folgenden Aussagen

Autonome Kleinbusse...

[illegible]

Bewerten Sie bitte die folgenden Aussagen

[illegible]

Seite 4

Wie lautet die Postleitzahl Ihres Wohnortes?

Sofern Sie in Unterschleißheim wohnen, bitten wir Sie nach Ortsteil zu differenzieren

- ☐ 85716 Unterschleißheim
- ☐ 85716 Unterschleißheim Lohhof-Süd
- ☐ 85716 Unterschleißheim Riedmoos
- ☐ andere Postleitzahl (bitte angeben)

Wie weit ist Ihr Wohnort vom Business Campus entfernt?

- ☐ weniger als 1 km
- ☐ zwischen 1 km und 5 km
- ☐ zwischen 5 km und 10 km
- ☐ zwischen 10 und 20 km
- ☐ mehr als 20 km

Seite 5

Haben Sie an Ihrem Arbeitsplatz viel Kundenkontakt?

- ☐ nein
- ☐ ja, online und am Telefon
- ☐ ja, dazu muss ich mehrmals pro Woche den Business Campus verlassen
- ☐ ja, uns besuchen Kunden am Business Campus
- ☐ ich weiß nicht

Seite 6

Steht Ihnen ein Pkw zur Verfügung?

- ☐ ja, immer
- ☐ ja, nach Absprache
- ☐ nur durch Carsharing
- ☐ nein

Haben oder hätten Sie die Möglichkeit Ihren Pkw am Business Campus während der Arbeitszeit abzustellen?

- ☐ ja, firmeneigene Stellplätze können genutzt werden
- ☐ ja, kostenfreie Stellplätze auf dem Gelände des Business Campus können genutzt werden
- ☐ ja, nur Stellplätze gegen Gebühr können genutzt werden
- ☐ nein

Seite 7

Gibt es bei Ihrem Arbeitgeber die Möglichkeit eines Job-Ticket-Abonnements?

- ☐ ja
- ☐ nein
- ☐ ich weiß nicht

Seite 8

Welche Verkehrsmittel bzw. Kombinationen von Verkehrsmitteln nutzen Sie, um zu Ihrem Arbeitsplatz am Business Campus zu kommen?

Bitte beziehen Sie Ihre Bewertung bzw. Ihre Antworten zur folgenden Frage auf Ihr Mobilitätsverhalten vor der Corona-Krise.

	(fast) täglich	1-3 mal pro Woche	seltener bzw. nie
Pkw	☐	☐	☐
Fahrrad	☐	☐	☐
zu Fuß	☐	☐	☐
Sharing-Angebote (Pkw, Fahrrad, E-Scooter etc.)	☐	☐	☐
Bus	☐	☐	☐
BMW-Shuttle / U-Bahn Feldmoching	☐	☐	☐
S-Bahn und Pkw	☐	☐	☐
S-Bahn und zu Fuß	☐	☐	☐
S-Bahn und Fahrrad	☐	☐	☐
S-Bahn und Bus	☐	☐	☐
S-Bahn und Sharing Angebote (Pkw, Fahrrad, E-Scooter etc.)	☐	☐	☐
sonstiges 	☐	☐	☐

Seite 9

Um wie viel Uhr ist üblicherweise Ihr Arbeitsbeginn?

Falls Sie im Schichtbetrieb arbeiten und Ihr üblicher Arbeitsbeginn vor 05:00 Uhr oder nach 11:00 Uhr ist, geben Sie bitte Ihren Schichtbeginn bzw. üblichen Arbeitsbeginn an.

Um wie viel Uhr verlassen Sie üblicherweise den Business Campus?

Falls Sie im Schichtbetrieb arbeiten und den Business Campus üblicherweise vor 13:00 Uhr oder nach 20:00 Uhr verlassen, geben Sie bitte Ihr Schichtende an. bzw. wann Sie den Business Campus verlassen.

Seite 10

Bewerten Sie bitte die folgenden Aussagen

	stimme sehr zu	stimme eher zu	weder noch	stimme eher nicht zu	stimme gar nicht zu	weiß ich nicht
Die Einrichtung einer autonomen Buslinie zwischen Business Campus und S-Bahnhof Unterschleißheim finde ich sinnvoll.	☐	☐	☐	☐	☐	☐
Durch eine bessere ÖV-Anbindung des Business Campus kann ich mir vorstellen den ÖV häufiger zu nutzen.	☐	☐	☐	☐	☐	☐

Seite 11

Welche Voraussetzungen müssen erfüllt sein, dass Sie autonome Kleinbusse für den Weg zum Business Campus nutzen würden.

Mehrfachauswahl möglich (maximal 5 Antworten)

- ☐ ich möchte mit autonomen Kleinbussen nicht fahren
- ☐ die Nutzung des autonomen Kleinbusses müsste in den MVV-Tarif integriert sein
- ☐ die Taktdichte des Angebotes müsste auf den S-Bahn-Fahrplan abgestimmt sein
- ☐ die Reisezeit des autonomen Kleinbusses sollte nicht länger sein als mit der vorhandenen Busverbindung
- ☐ die ÖV-Anbindung an meinem Wohnort müsste verbessert werden
- ☐ autonome Busse müssten sich bereits in anderen Städten etabliert haben
- ☐ sonstiges

Seite 12

Zuletzt haben wir noch zwei statistische Fragen.

Welches Geschlecht haben Sie?

- ☐ männlich
- ☐ weiblich
- ☐ divers

Wie alt sind Sie?

- ☐ bis 15 Jahre
- ☐ 16 - 30 Jahre
- ☐ 31 - 45 Jahre
- ☐ 46 - 65 Jahre
- ☐ über 65 Jahre

Seite 13

Haben Sie weitere Anmerkungen zum Thema "autonome Kleinbusse"?

Die Umfrage ist beendet. Vielen Dank für die Teilnahme.

Das Fenster kann nun geschlossen werden.

Anlage 4 Mitarbeiterbefragung Business Campus – englische Fassung

Employee survey - Business Campus München : Unterschleissheim

Bitte wählen Sie eine Sprache aus. / Please choose a language.

☐ Deutsch

☒ English

Page 1

Please only participate in this survey, if you are an employee at the Business Campus München : Unterschleissheim (Germany).

Dear employees at the Business Campus München : Unterschleissheim,

the city of Unterschleissheim has commissioned the engineering firm gevas humberg & partner from Munich in cooperation with the Technical University of Munich (TUM) to examine and design an autonomous e-shuttle bus service between the business campus and the Unterschleissheim S-Bahn station. The route was chosen not only because of its ideal track-characteristics, but also because of the business campus with its many employees offers a high user potential. Your participation as an employee at the Business Campus München : Unterschleissheim is very important for the conception of an autonomous bus service. With this survey we would like to determine the demand for an autonomous e-shuttle service as well as offer you the opportunity to comment and give any suggestions on this topic.

For this survey, please refer to your mobility behaviour before the events of the corona crisis.

All data will be processed anonymously and only used for planning purposes. All data protection regulations are complied with. If you have any questions about data protection or about the survey in general, please contact gevas humberg & partner (Ms. Winzinger), Tel. : 089-4890850.

We are looking forward to your suggestions and thank you for your support!

Page 2

The first questions touch on the general factors in your choice of transportation as well as your general opinion on the topic of "autonomous buses".

Later on, you will be questioned about the determining factors in your choice of transportation for your commute to the Business Campus specifically.

Which of the following are most important to you when choosing your means of transportation?

Please put the following aspects in order according to their importance (1 = most important; 9 = least important)

- the fun of driving
- reliability
- costs
- safety
- comfort
- environmental sustainability
- flexibility
- modern technology
- travel time



Source: Deutsche Bahn AG

Have you ever seen an autonomous bus like the one shown above?

- ☐ no
- ☐ yes, but only in the media (newspaper, television, internet etc.)
- ☐ yes, I've seen a bus like that in real life
- ☐ yes, I've even taken a ride on an autonomous bus
- ☐ I don't know

Which of the following aspects do you associate with autonomous buses the most?

Multiple choice (select a maximum of 3)

- ☐ mistrust
- ☐ innnovation
- ☐ fear
- ☐ curiosity
- ☐ fascination
- ☐ future
- ☐ other

Page 3

Please comment on the following statements

Autonomous minibuses ...

[illegible]

Please rate the following statements

[illegible]

Page 4

What is the ZIP code of your place of residence?

If you live in Unterschleissheim, what part do live in?

- ☐ 85716 Unterschleissheim
- ☐ 85716 Unterschleissheim Lohhof-Süd
- ☐ 85716 Unterschleissheim Riedmoos
- ☐ other zip code (please specify)

How far is your home from the Business Campus?

- ☐ less than 1 km
- ☐ between 1 km and 5 km
- ☐ between 5 km and 10 km
- ☐ between 10 km and 20 km
- ☐ more than 20 km

Page 5

Do you have a lot of contact with customers at work?

- ☐ no
- ☐ yes, online and on the phone
- ☐ yes, for that reason I often have to leave the business campus several times a week
- ☐ yes, customers visit us at the Business Campus
- ☐ I do not know

Page 6

Do you have access to a car?

- ☐ yes, always
- ☐ yes, by arrangement
- ☐ only by car-sharing
- ☐ no

Do you or would you have the possibility to park your car at the Business Campus during work hours?

- ☐ yes, company-owned parking spots can be used
- ☐ yes, free parking spots on the grounds of the Business Campus can be used
- ☐ yes, but only by paying a parking fee
- ☐ no

Page 7

Does your employer offer Job-Ticket subscriptions for public transportation?

- ☐ yes
- ☐ no
- ☐ I do not know

Page 8

Which means of transportation or combinations of means of transportation do you use to get to your workplace at the Business Campus?

When answering, please refer to your mobility behaviour before the corona crisis.

	(almost) daily	1-3 times per week	rarely or never
car	☐	☐	☐
bicycle	☐	☐	☐
on foot	☐	☐	☐
sharing offers (car, bicycle, e-scooter etc.)	☐	☐	☐
bus	☐	☐	☐
BMW-Shuttle / U-Bahn Feldmoching	☐	☐	☐
S-Bahn and car	☐	☐	☐
S-Bahn and on foot	☐	☐	☐
S-Bahn and bicycle	☐	☐	☐
S-Bahn and bus	☐	☐	☐
S-Bahn and sharing offers (car, bike, e-scooter etc.)	☐	☐	☐
other 	☐	☐	☐

Page 9

What time do you usually start work?

If you work in shifts and you usually start work before 5:00 a.m or after 11:00 a.m., please state when you usually start work.

What time do you usually leave the Business Campus?

If you work in shifts and you usually start before 1:00 p.m. or after 8:00 p.m., please state when you usually get off work or when you leave the Business Campus.

Page 10

Please comment on the following statements

	I totally agree	I rather agree	neither nor	I rather disagree	I totally disagree	I do not know
I think an autonomous bus line between the Business Campus and the S-Bahn station Unterschleißheim would be a good idea.	☐	☐	☐	☐	☐	☐
With better public transportation connections to the Business Campus, I can imagine using public transportation more often.	☐	☐	☐	☐	☐	☐

Page 11

What are conditions that must be met for you to use autonomous minibuses to get to the Business Campus.

Multiple choice (maximum 5 answers)

- ☐ I don't want to go on an autonomous minibuses
- ☐ the autonomous minibus service would have to be integrated into the MVV tariff structure
- ☐ the frequency of an autonomous minibus would have to be coordinated with the S-Bahn timetable
- ☐ the travel time of the autonomous minibus should not be longer than that of the existing bus line
- ☐ my place of residence would have to be better connected to means of public transportation
- ☐ transportation with autonomous buses would already have to been established in other cities
- ☐ other

Page 12

Lastly, we have two statistical questions.

What is your gender?

- ☐ male
- ☐ female
- ☐ other

Which age range are you in?

- ☐ 15 years or younger
- ☐ 16 - 30 years
- ☐ 31 - 45 years
- ☐ 46 - 65 years
- ☐ 65 years or older

Page 13

Do you have any further comments on "autonomous minibuses"?

You have completed the survey. Thank you for taking time out of your day to participate, we really appreciate it.

Anlage 5 Protokolle der Experteninterviews

Machbarkeitsstudie „Autonomes Shuttle Unterschleißheim“

Experteninterview

Datum: 03.02.2021

Uhrzeit: 13.00 bis 14.30 Uhr

Teilnehmer:

- **Hr. Stefan Grüttner**
Landratsamt Kelheim
Stabsstelle Öffentlicher Personennahverkehr
- **Hr. Ulrich Glöckl**
TU München
- **Hr. Dr. Marcus Gerstenberger**
gevas humberg & partner

1. Welche Randbedingungen sehen Sie für den Einsatz eines autonomen Shuttles in einer Stadt wie Unterschleißheim?

Parkende Fahrzeuge am Fahrbahnrand stellen ein Problem dar, da die E-Shuttles in einem „Schlauch“ fahren und diesen bei Blockade nicht verlassen können.

In Weltenburg (viele Fußgänger) und Abensberg (enge Gassen) bewähren sich die Fahrzeuge (EASYMILE EZ 10) unter schwierigen Randbedingungen.

Im Vergleich zu den Anwendungen in Kelheim oder Abensberg ist die Kundenstruktur in Unterschleißheim empfindlicher auf Verspätungen, da die S-Bahn erreicht werden muss.

Die derzeit verfügbaren Fahrzeuge sind schnell überlastet (6 sitzende Fahrgäste), das würde auch in Unterschleißheim problematisch, wenn z.B. zahlreiche Fahrgäste aus einer S-Bahn zu den Shuttles streben.

Bei Fahrten auf Streckenabschnitten mit 50 km/h zulässiger Höchstgeschwindigkeit ist vom Shuttle mindestens die Hälfte zu erreichen. Mit ca. 15 bis 18 km/h können die Fahrzeuge das derzeit noch nicht. Die Reduzierung der angeordneten Geschwindigkeit ist bei den Verkehrsbehörden schwer durchsetzbar. Eine Geschwindigkeit von mind. 25 km/h zieht ebenfalls eine Gurtpflicht der Fahrgäste nach sich.

2. Welche straßenseitige Unterstützung ist für einen Regelbetrieb zwingend notwendig?

Die Kommunikation mit LSA gehört bereits zum Standardrepertoire der Fahrzeuge von EASYMILE („EASYMILE Fleetmanagement“).

3. Welches sind aus Ihrer Sicht zuverlässig arbeitende Komponenten zur Kommunikation der Fahrzeuge mit der Lichtsignalanlage (Road Side Unit - RSU, Onboard Unit - OBU)

--

4. Welche zentralenseitigen Voraussetzungen sind zu erfüllen?

Derzeit werden in Kelheim auftretende Störungen vom Operator koordiniert und behoben. Perspektivisch ist eine Leitzentrale unverzichtbar. Dies wird Gegenstand der kommenden Projektausbaustufe in Kelheim sein.

5. Welche Betriebsform ist in Unterschleißheim denkbar?

Der Betrieb in Kelheim ist nach §42 PBefG i.V. mit §2(6) für 4 Jahre als Pilotprojekt genehmigt. Der LK tritt hierbei als Betreiber auf.

Es wird empfohlen, das Projekt nach außen als Forschungsprojekt darzustellen und mögliche Fehlfunktionen anzukündigen. Ein durchgehend zuverlässiges, störungsfreies Angebot kann derzeit nicht sichergestellt werden.

6. Welche finanzielle Unterstützung ist erforderlich/möglich?

Der Betrieb in Kelheim wurde unter Beteiligung von:

- StMB (80% der Investition Fahrzeuge)
- Landkreis KEH
- Stadt KEH
- Und durch Sponsoring

finanziert.

7. Welche Erfahrungswerte zu den Kosten liegen vor?

In Kelheim laufen für Investition und Wartung für 5 Jahre Kosten von 1,4 Mio € auf. Das entspricht 700 T€ je Fahrzeug für 5 Jahre → 140 T€ p.a. im Mittel.

Personalkosten belaufen sich für zwei Fahrzeuge (5 Halbtagskräfte) auf 120 T€ p.a. → pro Fahrzeug 60 T€ p.a.

Das ergibt für Fahrzeug und Personal pro Fahrzeug ca. 200 T€ p.a.

8. Welche Erfahrungen im Hinblick auf die Nutzerakzeptanz, vor allem zur Attraktivität für regelmäßige Nutzer, zur Zuverlässigkeit und den Erwartungen der Nutzer an die Beförderungsgeschwindigkeiten liegen Ihnen vor?

Siehe Frage 1

Für einen Einsatz im Anwendungsfall Unterschleißheim wird die erreichbare Fahrtzeit das entscheidende Kriterium sein.

9. Welche Hinweise können Sie für eine effizientere Gestaltung zukünftiger Zulassungsverfahren geben?

EASYMILE hat für EZ10 eine Typzulassung beantragt, das könnte zukünftig eine Zeitersparnis im Genehmigungsverfahren bringen. Dennoch muss der Betrieb spezifisch durch ein Streckengutachten vorbereitet werden. Dieses Streckengutachten wird üblicherweise zusammen mit den Fahrzeugen ausgeschrieben.

In Kelheim war hoher Zeitdruck im Genehmigungsverfahren (Vergabe Ende November, Betrieb ab 1.März), gute Erfahrungen wurden mit der DEKRA als Gutachter gemacht. TÜV Süd ist im Vergleich dazu schwerfälliger.

10. Sonstige Ergänzungen

E-Shuttle sind derzeit weder wirtschaftlich noch effizient. Langfristig muss ein Betrieb ohne Operatoren im Fahrzeug erreicht werden.

Geringfügige äußere Einflüsse reichen aus, um Betriebsstörungen zu verursachen:

- Pollen
- Starker Regen, Schneefall

Mit den Fahrzeugen wird immer eine „Black Box“ gekauft. Es besteht kein Zugriff z.B. auf Sensordaten und keine Kontrolle über die Steuerung der Fahrfunktionen, diese hat nur der Hersteller.

Machbarkeitsstudie „Autonomes Shuttle Unterschleißheim“

Experteninterview

Datum: 03.02.2021

Uhrzeit: 15:00 bis 16:30 Uhr

Teilnehmer:

- **Hr. Timo Arimont**
Hochbahn Hamburg – Forschungsprojekt HEAT
Projektkoordination, Evaluation Gesamtprojekt
- **Hr. Ulrich Glöckl**
TU München
- **Hr. Dr. Marcus Gerstenberger**
gevas humberg & partner

1. Welche Randbedingungen sehen Sie für den Einsatz eines autonomen Shuttles in einer Stadt wie Unterschleißheim?

Das im Projekt HEAT eingesetzte Shuttle der IAV kann flexibel innerhalb eines definierten Fahrschlauches, der die komplette Richtungsfahrbahn beinhaltet, agieren. Ein autonomes Ausweichen und Vorbeifahren an Hindernissen sind dadurch möglich. Grundsätzlich nicht möglich ist z.B. die Nutzung der Gegenfahrbahn.

Das eingesetzte Shuttle hat derzeit eine Zulassung bis 25 km/h.

Durch die Sensorunterstützung der Infrastruktur (Lidar und Radar in allen Zufahrten zur Kreuzung) ist eine autonome Querung von LSA-Kreuzungen möglich und auch durch DEKRA zugelassen. Die Kommunikation der Ampelsignale an Fahrzeug wird dabei durch Siemens an allen 9 Kreuzungen umgesetzt.

In Hamburg ist bewusst eine Komplettausstattung der Infrastruktur vorgenommen worden. Weitere Untersuchungen sollten darauf abzielen, das notwendige Maß an Infrastrukturausstattung zu definieren.

2. Welche straßenseitige Unterstützung ist für einen Regelbetrieb zwingend notwendig?

Bei Verwendung von EASYMILE oder NAVYA-Fahrzeugen sind Landmarken entlang der Strecke zur Lokalisierung erforderlich.

Für den Einsatz des IAV-Fahrzeugs im HEAT-Testfeld sind aufgrund der Ausstattung mit Radar bzw. Lidar-Sensoren an allen Zufahrten zu den LSA-Knotenpunkten keine zusätzlichen Landmarken notwendig.

Weiterhin erforderlich ist eine hochgenaue Karte, die in Hamburg durch den LGV (Landesbetrieb Geoinformation und Vermessung) über tagesaktuelle Updates auf dem neuesten Stand gehalten wird.

3. Welches sind aus Ihrer Sicht zuverlässig arbeitende Komponenten zur Kommunikation der Fahrzeuge mit der Lichtsignalanlage (Road Side Unit - RSU, Onboard Unit - OBU)

Als Erkenntnis aus den bisherigen Testfahrten zeigt sich, dass eine Kombination aus Shuttle- und Infrastruktur-Sensorik weniger sensibel ist und eine höhere Performance als allein eine fahrzeugseitige Sensorik aufweist. Anwendungsbezogen und vor allem bei Festzeitsteuerung ist eine Kurzzeitprognose von Signalphasen sinnvoll, damit die Fahrzeuge z.B. Knotenpunkte vor Freigabe von Gegenrichtungen verlassen haben.

4. Welche zentralenseitigen Voraussetzungen sind zu erfüllen?

Eine Vollintegration in die Bus-Leitstelle ist zurzeit noch nicht umgesetzt. Die Überwachung des Fahrzeugs erfolgt durch eigene Leitstellensoftware (Hersteller: Siemens) die folgenden Funktionen:

- Automatisierte Verteilung der Fahrpläne durch den Disponent
- Rückmeldung des Operators bei Eingriffen
- Übersicht der Funktionalität der Sensorik
- Monitoring der Ladesäule

Die Steuerung des Fahrzeuges aus der Leitstelle (Teleoperation) sowie die Freigabe von Fahrtaufträgen, die über die normale Linienplanung hinausgehen, ist derzeit noch nicht möglich (und z.T. auch gesetzlich noch nicht zugelassen).

5. Welche Betriebsform ist in Unterschleißheim denkbar?

Der Betrieb in Hamburg erfolgt nicht nach PBefG und es wird kein Fahrtgeld erhoben. Das Fahrzeug ist lediglich als Demonstrator im Forschungsprojekt unterwegs.

Es sollte in Unterschleißheim ein Betrieb im Rahmen eines Forschungsprojektes angestrebt werden, um bei den Nutzern keine falsche Erwartungshaltung zu erzeugen.

Mögliche Forschungsziele:

- Welches Maß an Infrastruktur Ausstattung ist für ein autonomes Fahren ohne Operator im jeweiligen Anwendungsfeld notwendig?
- Möglichkeiten zur Steigerung der Betriebsgeschwindigkeit

Die Einbindung eines (ggf. neuen, noch nicht etablierten) Fahrzeugherstellers, welcher im Rahmen des Forschungsprojektes die Weiterentwicklung der Fahrzeugtechnologie vornimmt, ist von Vorteil (könnte ein Förderanreiz sein).

6. Welche finanzielle Unterstützung ist erforderlich/möglich?

Die Nutzung von Bundesfördermitteln ist zielführend. Das Projekt HEAT wird ebenfalls durch den Bund gefördert (Sofortprogramm „Saubere Luft“ des Förderprogramms „Erneuerbar Mobil“).

Bisherige Förderprojekte (zumeist mit Laufzeit bis Ende 2021) waren frei in der Gestaltung der Forschungsinhalte. Die gesteckten Ziele (zumeist autonomes Fahren ohne Operator) sind dabei bisher nicht erreicht worden

Es ist zu erwarten, dass Projekte in neuen Förderaufrufen höhere Anforderungen erfüllen müssen und ein stärkeres (ggf. auch realistischerweise nicht-erreichbares) Alleinstellungsmerkmal notwendig wird. KI-Themen werden dabei sicherlich eine höhere Relevanz bekommen.

7. Welche Erfahrungswerte zu den Kosten liegen vor?

Eine Aussage zum Investitionswert des Fahrzeugs kann nicht getroffen werden, da es sich um einen im Rahmen des Projektes weiterentwickelten Prototypen handelt.

Die verwendeten Lidar / Radar-Sensoren (9 Knotenpunkte mit je mehreren Masten) entsprechen den handelsüblichen Preisen

Die Personalkosten für den Betrieb 1 Fahrzeug im 6 Tage-Betrieb (2020) beinhalten insgesamt 4 Busfahrer in Abordnung von seinem üblichen Dienst sowie zusätzlich ein Disponent in Leitstelle. Es handelt sich dabei um Busfahrer, die eine Schulung auf dem Fahrzeug erhalten. Für 2021 ist der Einsatz von 6 Fahrer vorgesehen.

8. Welche Erfahrungen im Hinblick auf die Nutzerakzeptanz, vor allem zur Attraktivität für regelmäßige Nutzer, zur Zuverlässigkeit und den Erwartungen der Nutzer an die Beförderungsgeschwindigkeiten liegen Ihnen vor?

Bei der Befragung von Teilnehmern (8-86 Jahre) wurde nur wenig negatives Feedback gegeben. Es konnte eine hohe Akzeptanz festgestellt werden. Die Erwartungen der Nutzer an die Zuverlässigkeit sind geringer als vermutet. Im Rahmen des Forschungsprojektes werden auftretende Fehler verziehen. Die befragten Nutzer sind durch eine sehr hohe Innovationsneigung geprägt.

Das Sicherheitsempfinden wird als hoch eingeschätzt, es wurden auch stehende Fahrgäste befördert.

9. Welche Hinweise können Sie für eine effizientere Gestaltung zukünftiger Zulassungsverfahren geben?

Die Wahl, welches Prüfinstitut genutzt wird hat Einfluss auf die Dauer der Zulassung.

Ebenfalls sind Unterschiede zu erwarten in Abhängigkeit welcher Fahrzeughersteller eingesetzt wird. EASYMILE und NAVYA haben bereits mit mehreren Fahrzeugen in der Flotte und es liegen Erfahrungen auf beiden Seiten (Fahrzeughersteller und Prüfinstitut) vor.

Eine starke und frühzeitige Einbindung der Zulassungsbehörde ist von Vorteil.

Der vorgesehene Gesetzesentwurf zum autonomen Fahren sowie über eine Verordnung zur Genehmigung und zum Betrieb von Kraftfahrzeugen mit autonomer Fahrfunktion in festgelegten Betriebsbereichen sieht eine Änderung des Zulassungsvorgehens vor, wodurch voraussichtlich höhere Kosten entstehen (für jedes Einzelfahrzeug wird eine Zulassung über das KBA, mit entsprechender Gebührenordnung notwendig, sodass mehrere 10T€ pro Fahrzeugzulassung anfallen). Aus Sicht von Hr. Arimont könnten durch die genannten Änderungen für laufende sowie in Kürze startende Projekte Risiken entstehen, da sich das Zulassungsverfahren und deren Kosten erheblich ändern könnten.

Machbarkeitsstudie „Autonomes Shuttle Unterschleißheim“

Experteninterview

Datum: 05.02.2021

Uhrzeit: 14.00 bis 15.30 Uhr

Teilnehmer:

- **Hr. Dr. Thomas Huber**
Hr. Stefan Kretschmar
DB Regio Bus
Innovative Verkehrskonzepte, on-demand-Services und Mobilitätsmanagement
- **Hr. Ulrich Glöckl**
TU München
- **Hr. Dr. Marcus Gerstenberger**
gevas humberg & partner

1. Welche Randbedingungen sehen Sie für den Einsatz eines autonomen Shuttles in einer Stadt wie Unterschleißheim?

Siehe die folgenden Fragen.

2. Welche straßenseitige Unterstützung ist für einen Regelbetrieb zwingend notwendig?

Das hängt von speziellen Einsatzfeld ab, Standardlösungen, eine Art Baukasten, existieren noch nicht. Im Projekt HEAT in Hamburg wird mehr Infrastrukturunterstützung als nötig eingesetzt. In Bayern bestehen erste Erfahrungen aus Bad Birnbach und es werden welche im Projekt „Shuttle-Modellregion-Oberfranken“ (Hof, Rehau, Kronach) gesammelt.

Siehe auch Fragen 3 und 6

3. Welches sind aus Ihrer Sicht zuverlässig arbeitende Komponenten zur Kommunikation der Fahrzeuge mit der Lichtsignalanlage (Road Side Unit - RSU, Onboard Unit - OBU)

Seitens DB Regio bestehen gute Erfahrungen mit SIEMENS als Projektpartner. U.a. die Kommunikation mit LSA im städtischen Umfeld wird im Projekt „Shuttle-Modellregion-Oberfranken“ erprobt werden. Dort stammt die Ausrüstung der LSA von Siemens.

In Bad Birnbach erfolgt die Kommunikation mit der dynamischen Tafel zur Anzeige der Geschwindigkeitsbeschränkung (SWARCO).

Auf der Fahrzeugseite ist nach Erfahrungen der DB Regio der Hersteller NAVYA noch nicht auf dem neuesten Stand der Kommunikation mit LSA-Steuergeräten.

4. Welche zentralenseitigen Voraussetzungen sind zu erfüllen?

Perspektivisch ist eine Leitstelle unverzichtbar. Im Projekt „Shuttle-Modellregion-Oberfranken“ wird eine Leitstelle aufgebaut, die erst den Betrieb (in den drei Modellorten) überwacht, in einem weiteren Schritt sollen die Fahrzeuge von dort aus ferngesteuert werden können.

5. Welche Betriebsform ist in Unterschleißheim denkbar?

Ein Regelbetrieb nach PBefG hat die Erfüllung einer Betriebspflicht zur Folge. Diese ist mit störungsanfälligen Fahrzeugen nur aufwendig erfüllbar. So z.B. müssen konventionelle Ersatzfahrzeuge (mit Personal) vorgehalten werden.

6. Welche finanzielle Unterstützung ist erforderlich/möglich?

Derzeit sind keine Förderaufrufe bekannt. Der aktuelle Förderaufruf des Bundes (zumeist mit dem Fokus auf der Einbindung von KI) ist abgelaufen, vermutlich erfolgt ein weiterer Aufruf im Herbst 2021. Details sind derzeit nicht bekannt.

Eine Förderung kann sowohl durch den Bund als auch den Freistaat erfolgen. Folgende Fördermittelgeber laufender Projekte lassen sich nennen:

- Modellregion-Oberfranken: BMVI
- Bad Birnbach: BMVI
- Kelheim / Abensberg: StMB

Fördermittel für Investition und/oder Betrieb sind unabdingbar. Dazu muss bei neuen Projekten potenziellen Fördermittelgebern eine Weiterentwicklung der Anwendung von E-Shuttles als Aufgabenstellung des Projektes dargestellt werden, um eine Förderfähigkeit zu begründen. Folgende Schwerpunkte bestehen in Bayern derzeit:

- Bad Birnbach. / Herstellung der Anbindung des Bahnhofes an das Kurgebiet / Routenführung im klassifizierten Straßennetz
- Kelheim / Abensberg: Touristische Anwendung / Fahrbetrieb in Altstadtstraßen
- Hof / Kronach / Rehau: städtische Anwendung, Einsatz einer Leitwarte

Ein möglicher neuer und förderfähiger Anwendungsfall in Unterschleißheim wäre die Entwicklung und der Test eines angemessenen/unbedingt notwendigen Maßes der Unterstützung durch Infrastruktur. DB Regio kann sich (zusammen mit Siemens) bei einer derartigen Aufgabenstellung eine Teilnahme an einem Forschungsprojekt vorstellen.

7. Welche Erfahrungswerte zu den Kosten liegen vor?

Investition Fahrzeug:	ca. 300 T€ (Leasing ist dabei von Vorteil gegenüber dem Kauf)
Wartung/Setup erstes Jahr:	ca. 200 T€
Wartung Folgejahre:	ca. 100 T€
Personalkosten:	150 T€ p.a.

- 8. Welche Erfahrungen im Hinblick auf die Nutzerakzeptanz, vor allem zur Attraktivität für regelmäßige Nutzer, zur Zuverlässigkeit und den Erwartungen der Nutzer an die Beförderungsgeschwindigkeiten liegen Ihnen vor?**

Grundsätzlich tritt ein Gewöhnungseffekt ein. Der Reiz des Neuen verfliegt für die Nutzer und aufgrund von vergleichsweise langsamen Reisegeschwindigkeiten und Störungen wählen Nutzer verkehrliche Alternativen. Im Kelheim z.B. nimmt die Nutzerzahl über die Laufzeit ab.

In Bad Birnbach hat sich die Nachfrage stabilisiert, neben Kurgästen fahren auch Pendler mit dem Shuttle.

- 9. Welche Hinweise können Sie für eine effizientere Gestaltung zukünftiger Zulassungsverfahren geben?**

Die DEKRA ist als Gutachter für Fahrzeug und Strecke schneller als z.B. der TÜV Süd.

Einen hohen Einfluss hat die derzeit als „Referentenentwurf“ vorliegende Novelle der StVO. Z.B. ist gemäß dem derzeitigen Stand bei **jeder** Neuzulassung das Kraftfahrtbundesamt einzubeziehen. Dies wird Zeit und Geld kosten (mehrere 10 T€) und eine Hochskalierung des Angebots erschweren.