

# Autonomer Shuttle-Verkehr zum Bäderquartier Baden Vorstudie

10.09.2020

Erstellt durch:

**inno2grid GmbH**

EUREF-CAMPUS 12-13  
10829 Berlin  
[www.inno2grid.com](http://www.inno2grid.com)

**Ansprechpartner:**

**Frank Christian Hinrichs** (Geschäftsführer)

Telefon: +49 30 238884 - 250

Mobil: +49 160 9744 1195

Email: [frank.c.hinrichs@inno2grid.com](mailto:frank.c.hinrichs@inno2grid.com)

in Zusammenarbeit mit:

**Büro autoBus**

Wallstraße 58  
10179 Berlin  
[www.buero-autobus.de](http://www.buero-autobus.de)

**Bearbeiter/innen:**

**Thomas Kreher**

inno2grid GmbH

**Liss Böckler**

Büro autoBus

# Autonomer Shuttle-Verkehr zum Bäderquartier Baden

## Vorstudie

### Inhaltsverzeichnis

1. Projektbeschreibung.....	3
2. Grundlagen zum autonomen Fahren.....	3
Technologische Grundlagen.....	3
Rechtliche Grundlagen.....	4
Automatisierte Fahrzeugmodelle.....	5
3. Analyse der Streckenvarianten .....	7
Untersuchungsgebiet und Prüfkriterien .....	7
Variante 1.....	8
Variante 2.....	10
4. Betriebskonzeption.....	11
5. Aufwandsabschätzung .....	12
6. Bewertung der Machbarkeit.....	14
7. Ausblick.....	16
Anhang.....	17

## 1. Projektbeschreibung

Das Bäderquartier in Baden wird aktuell neu gebaut und durch attraktive Angebote für ein urbanes, gesundheitsbewusstes Publikum aufgewertet. Zu dem einzigartigen und wegweisenden Konzept wird ein passendes innovatives Verkehrsangebot in Betracht gezogen, das den Anschluss vom Bahnhof Baden zum neuen Thermalbad über eine Strecke von ca. 700 Metern herstellen soll. Für diesen Anwendungsfall bietet sich der Einsatz von autonom bzw. hochautomatisiert fahrenden Kleinbussen an, welche dank Elektroantrieb ein klimafreundliches Mobilitätsangebot darstellen und aufgrund des hohen Innovationsgrades eine zusätzliche Anziehungskraft auf Besucher/innen des Quartiers und der Stadt Baden ausüben.

Automatisierte Shuttle-Busse wurden und werden schon in zahlreichen Forschungsvorhaben getestet. Die Technologie ist so weit entwickelt, dass sie nunmehr auch unter den realen Bedingungen des öffentlichen Straßenverkehrs Anwendung findet. Bezüglich der Voraussetzungen für die Befahrbarkeit einer Strecke im automatisierten Modus gibt es bisher keine festen Standards. Sie sind stark von den Fähigkeiten der sich noch in Entwicklung befindlichen Fahrzeuge abhängig. Daraus ergibt sich Bedarf für eine detaillierte Analyse der geplanten Streckenumgebung. Im Rahmen der Vorstudie werden zu berücksichtigende Kernpunkte sowie mögliche Hürden identifiziert und Lösungsmöglichkeiten aufgezeigt. Im weiteren Verlauf der Umsetzungsplanung müssen darauf aufbauend die tiefergehenden Untersuchungen vorgenommen werden, um die Grundlagen für die Umsetzungs- und Genehmigungsfähigkeit des Systems zu legen.

## 2. Grundlagen zum autonomen Fahren

### Technologische Grundlagen

Das autonome Fahren ist eine der vielversprechendsten neuen Technologien, um das Mobilitätssystem der Zukunft effizienter, emissionsärmer und sicherer zu gestalten. Gerade im Bereich des Öffentlichen Personennahverkehrs (ÖPNV) bieten sich durch den Einsatz von autonomen Shuttles neue Optionen, um das Angebot zu verbessern und auszuweiten. Der aktuelle Stand der Technik entspricht noch nicht dem höchstmöglichen Automatisierungslevel (siehe Stufe 5 in Abbildung 1), sondern etwa dem Level 3, d. h., die fahrerlos konzipierten Fahrzeuge (ohne Lenkrad und mechanische Bremse) bewegen sich im geplanten Anwendungsfall weitgehend ohne menschlichen Eingriff. Nur bei der Überschreitung von Systemgrenzen muss der Fahrzeugbegleiter die Steuerung übernehmen oder die Weiterfahrt bestätigen.

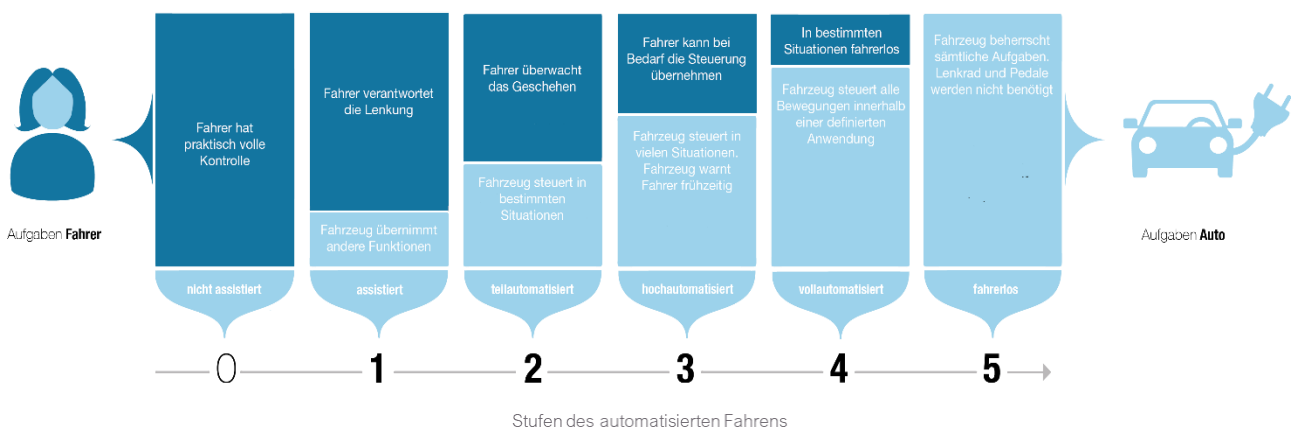


Abbildung 1: Die Stufen des automatisierten Fahrens, Quelle: Eigene Darstellung

Der Betrieb setzt das Kartographieren der Strecken/-umgebung und das Programmieren der Fahrzeugfunktionen (Blinken, Abbiegen, Haltestellen-Anfahrt usw.) voraus. Die Fahrzeuge fahren auf den eingemessenen Strecken entlang eines Referenzpfades/-schlauches. In die Busse eingebaut sind verschiedene Sensoren bzw. Sensorkombinationen, z. B. GPS-Empfänger, Ultraschall, Radumlaufzähler inkl. Messeinrichtungen für Lenkwinkel, Laserscanner, Radar und Kameras. Die Umgebung wird damit kontinuierlich erfasst, wodurch die Orientierung, Lokalisierung und Reaktion auf andere Verkehrsteilnehmer im Straßenverkehr möglich ist. Sie fahren ihre Strecken automatisiert mit bis zu 20 km/h sicherheitsorientiert entlang, halten zuverlässig bei feststehenden (Mülltonnen, parkende Kraftfahrzeuge etc.) oder spontan auftretenden Hindernissen (fahrende Kraftfahrzeuge, Tiere, Fußgänger, Bälle etc.) auf kurzer Distanz oder verlangsamen ihre Geschwindigkeit, wenn Hindernisse noch weit genug entfernt sind. Das Fahrzeugsystem muss stets die genaue Position kennen und vergleicht dazu laufend den Ist- mit dem Sollzustand (z. B. über den ermittelten GPS-Standort oder über per Laser erkannte Orientierungspunkte auf der gespeicherten 3D-Karte). Über Software-Updates gehen die aktuellen Entwicklungen direkt in die Fahrzeugsysteme ein, die bereits im Einsatz sind.

Das automatisierte System muss derzeit aus rechtlichen Gründen noch stets von einem Fahrzeugbegleiter im Fahrzeug überwacht werden, der im Notfall eingreifen kann. Dazu verfügen die Fahrzeuge über einen manuellen und einen automatisierten Fahrmodus. Im automatisierten Modus ist das Umfahren von sich auf der Strecke befindlichen Hindernissen, wie (regelwidrig) parkenden Fahrzeugen oder Mülltonnen, im geringen Rahmen bereits möglich. Einfache Verkehrssituationen, wie beispielsweise gleichberechtigte Kreuzungen, erhöhtes Verkehrsaufkommen oder ordnungsgemäß parkende Fahrzeuge, werden erkannt und gemeistert. Aus dem Mischverkehr ergeben sich jedoch vielfältige Fahrsituationen und damit hohe Anforderungen an das automatisierte und vernetzte Fahren. Die größten Herausforderungen treten aktuell noch bei dem Reagieren auf Wettereinwirkungen, Einfahren in die Gegenfahrbahn zur Umfahrung von Hindernissen und der Priorisierung von Hindernissen/anderen Verkehrsteilnehmern auf (z. B. Unterscheidung von umherfliegendem Blatt und wirklich relevanten Hindernissen).

Die real gefahrene Geschwindigkeit auf den Einsatzstrecken ist abhängig vom Fahrzeugmodell, vom Fahrmodus (manuell oder automatisiert), von der zugelassenen Höchstgeschwindigkeit und den Umgebungsbedingungen. Einige Modelle verfügen über einen Fahrerarbeitsplatz mit nach vorn gerichtetem Sitz und Lenkrad oder Joystick, wodurch ein schnelleres manuelles Fahren ohne Automatisierungssystem möglich ist. Bei anderen Modellen muss der Fahrzeugführer stehen und das Fahrzeug im manuellen Modus über einen kabelgebundenen Controller oder ein ähnliches Steuerelement steuern. Die zulassungsrechtlich zulässige Höchstgeschwindigkeit der Fahrzeuge beträgt derzeit max. 25 km/h. Als Faustregel gilt, dass die Fahrzeuge schneller fahren können, je besser die Umgebungsbedingungen sind, also je breiter die Straßen, je zuverlässiger der Satellitensignal-Empfang, je geringer die Verkehrsdichte usw. Eine Anhebung ist tendenziell absehbar und wird sich parallel zur rechtlichen und technischen Entwicklung ergeben.


## Rechtliche Grundlagen

Die Umsetzung von Verkehren mit automatisierten Fahrzeugen ist folglich nicht nur eine Frage der Technik, sondern im besonderen Maße auch des Rechts. Um mit automatisierten Fahrzeugen im öffentlichen Straßenraum Fahrgäste befördern zu können, müssen diese Fahrzeuge für den Betrieb auf den vorgesehenen Strecken zugelassen und die gewerbliche Personenbeförderung genehmigt sein. Das Generalsekretariat des Eidgenössischen Departements für Umwelt, Verkehr, Energie und Kommunikation (GS UVEK) ist zuständig für die finale

Zulassung von Pilotprojekten in der Schweiz. Die Ausnahmegenehmigung erfolgt durch das GS UVEK4. Ein Pilotprojekt zum automatisierten Fahren im ÖPNV bedingt eine detaillierte Beschreibung der Vorgehensweise sowie der Projektergebnisse. Für die Betriebsgenehmigung muss eine Reihe von Anforderungen erfüllt werden: Homologation des Fahrzeugs, Betriebskonzept, Sicherheitskonzept, Konzession (bzw. Ausnahme), Routenbeschreibungen, polizeiliche Genehmigungen, Zustimmungen des Kantons sowie der Stadt. Weiterhin sollte eine Prüfbehörde wie die ASTRA für die Fahrzeughomologation und bspw. die Koordination des Prozesses einbezogen werden.

### Automatisierte Fahrzeugmodelle

Die in Europa aktiven Hersteller und Entwickler sowie ihre verfügbaren Klein- oder Minibusse mit bis zu 12 Fahrgastplätzen (sämtlich Sitzplätze, da Stehplätze aus Sicherheitsgründen bisher nicht zugelassen wurden) sind in Tabelle 1 dargestellt:

Unternehmen	Fahrzeug	Maße (L x B x H in m), Fahrgastzahl und Quelle der Abbildung	Abbildung
EasyMile	EZ 10 (Gen 3)	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 4,05 x 1,89 x 2,87</li> <li>• 6 Sitzplätze</li> </ul> Abbildung: Büro autoBus	
NAVYA	Autonom Shuttle	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 4,75 x 2,11 x 2,65</li> <li>• 11 Sitzplätze</li> </ul> Abbildung: Büro autoBus	
Local Motors (LM Industries Group)	Olli	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 3,92 x 2,05 x 2,50</li> <li>• 8 Sitzplätze</li> </ul> Abbildung: LM Industries Group	
2getthere	GRT	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 6,00 x 2,10 x 2,80</li> <li>• 8-12 Sitzplätze</li> </ul> Abbildung: 2getthere	

Unternehmen	Fahrzeug	Maße (L x B x H in m), Fahrgastzahl und Quelle der Abbildung	Abbildung
Hanseatische Fahrzeug Manufaktur (HFM)	Motionboard	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 4,95 x 2,07 x 2,06</li> <li>• 8 Sitzplätze</li> </ul> Abbildung: Büro autoBus	
e.GO Moove	e.GO Mover	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 4,94 x 2,02 x 2,55</li> <li>• 10 Sitzplätze</li> </ul> Abbildung: Büro autoBus	
Lohr	i-Cristal	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 3,97 x 1,87 x 2,62</li> <li>• 7 Sitzplätze</li> </ul> Abbildung: Büro autoBus	
MUJI und Sensible4	GACHA	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 4,50 x 2,40 x 2,80</li> <li>• 10 Sitzplätze</li> </ul> Abbildung: Sensible4	

Tabelle 1: Übersicht der in Europa verfügbaren automatisierten Klein- und Minibus-Modelle

EasyMile und NAVYA bauen die weltweit am häufigsten eingesetzten Fahrzeuge und haben beide ihren Hauptsitz in Frankreich. Auch Local Motors, ein US-amerikanisches Unternehmen, 2gether (Tochter-Unternehmen von ZF) aus den Niederlanden, MUJI/Sensible4 aus Japan und Finnland sowie Lohr (Frankreich) haben im geringen Maße bereits in Europa Fahrzeuge im Einsatz. Perspektivisch werden auch die beiden deutschen Hersteller HFM und e.GO Moove im Jahr 2020 oder 2021 automatisierte Fahrzeuge auf dem europäischen Markt zum Verkauf anbieten und auf öffentlichen Straßen in Betrieb nehmen. Betriebszeiten von bis zu neun Stunden ohne Zwischenladung sind laut Herstellerangaben abhängig von klimatischen Bedingungen und Zuladung möglich, da es sich gänzlich um Elektrofahrzeuge handelt. Für die barrierefreie Nutzung werden die meisten Modelle mit automatischen Rampen und einer Ausstattung zum Sichern von Rollstühlen angeboten oder es bestehen andere Möglichkeiten für die Nutzung durch mobilitätseingeschränkte Fahrgäste.

### 3. Analyse der Streckenvarianten

#### Untersuchungsgebiet und Prüfkriterien

Nicht alle Strecken sind für automatisierte Shuttle-Busse heute schon befahrbar, sodass als erster Schritt eine Streckenanalyse erfolgt. Die Voraussetzungen für die Befahrbarkeit einer Strecke im automatisierten Modus sind von den sich in Entwicklung befindlichen Fähigkeiten der Modelle der einzelnen Anbieter abhängig. Folgende Kriterien sind herstellerunabhängig auszumachen: Fahrbahnbreite, -zustand, Verkehrsregelungen, Vegetation, Lokalisierung und Vehicle-2-X-Kommunikation. Durch geeignete Maßnahmen können Umgebungsbedingungen so verändert werden, dass die Machbarkeit hergestellt wird (z. B. Parkplätze in festgelegten Bereichen statt freiem Parken ohne Markierung). Für die Verbindung des Bäderquartiers mit dem Bahnhof Baden durch einen automatisierten Shuttle-Verkehr werden zwei Varianten untersucht, um die grundsätzliche Befahrbarkeit und die dafür eventuell erforderlichen infrastrukturellen und ordnungsrechtlichen Maßnahmen im Straßenraum zu ermitteln. Dies stellt die Ausgangsbasis für die detaillierte Infrastrukturplanung in der nächsten Projektphase dar.

Abbildung 2 zeigt den Streckenverlauf der beiden Varianten anhand einer Kartendarstellung. Für die Variante 1 ergeben sich zwei Optionen für den Start (1.a und 1.b).

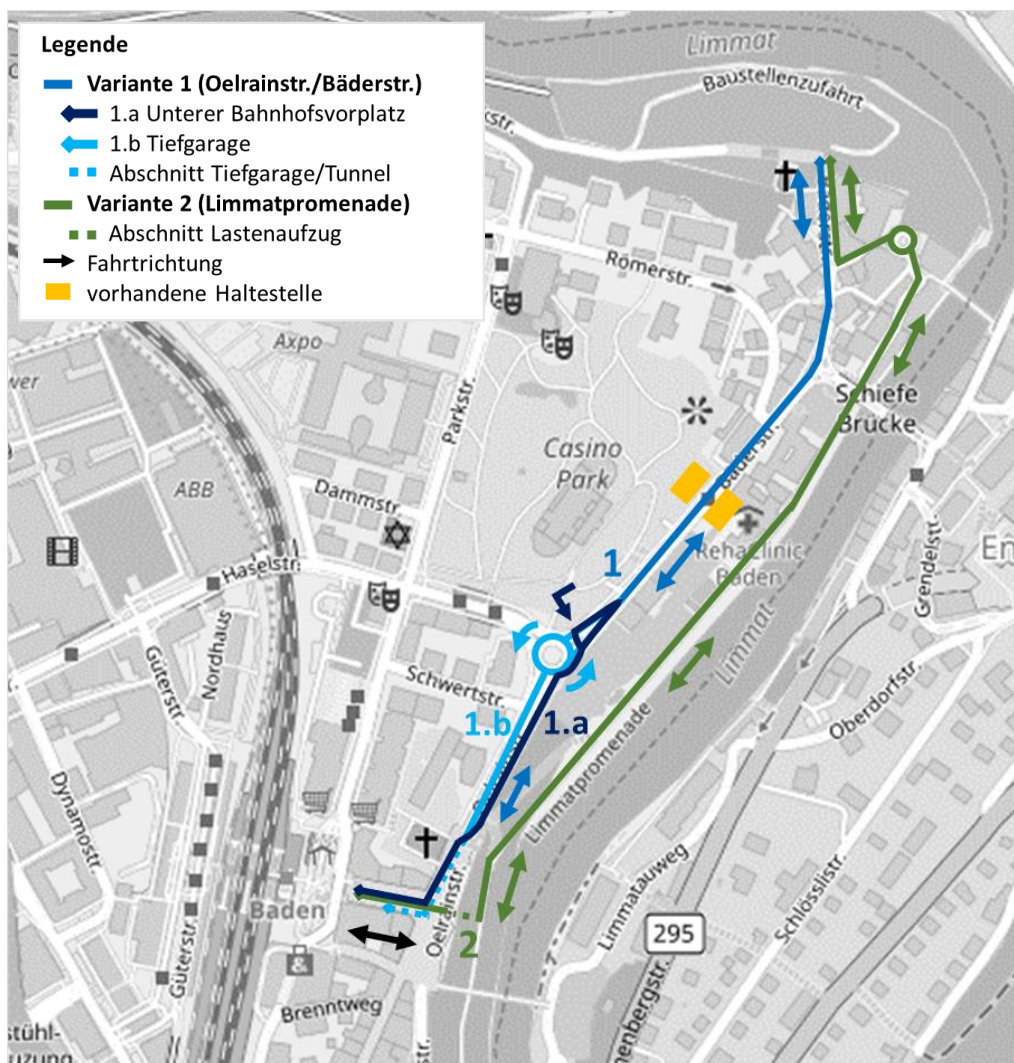


Abbildung 2: Streckenvarianten für den automatisierten Bus-Verkehr in Baden; Karte: OpenTopoMap mit eigener Bearbeitung

## Variante 1

Die Variante 1 führt vom Bahnhofsgebäude über die Oelrainstrasse und die Bäderstrasse zum Thermalbad und zurück. Die Bäderstrasse darf prioritär von Bussen, Taxen und Zubringern genutzt werden. Nach der Kreuzung mit der Schiefen Brücke ist die Fahrbahn auf eine Fahrzeugbreite verengt. Für den Start ergeben sich zwei Optionen, die am Kreisverkehr zusammengeführt werden:

1.a – Unterer Bahnhofsvorplatz: Gestartet wird der 1,8 km lange Umlauf in der Fußgängerzone auf der mittleren Ebene, entweder direkt am Bahnhofsgebäude (Metroshop) oder weiter vorn auf der Plattform. Dies sorgt für eine gute Sichtbarkeit des Shuttle-Bus-Angebotes für potenzielle Fahrgäste. Im weiteren Verlauf führt die Strecke entlang der östlichen Fußgängerrampe und dies in beiden Richtungen. Die westliche Rampe wird für den Fußgänger- und Radverkehr freigehalten. Auch der Kreisverkehr wird über den Fußgängerweg passiert. Mit der Einfahrt auf die Bäderstrasse wird der Wechsel auf die Fahrbahn vollzogen. Beim Rückweg erfolgt der Wechsel auf den Fußgängerweg ebenfalls vor dem Kreisverkehr.

1.b – Tiefgarage: Der 1,8 km lange Umlauf beginnt in der Tiefgarage, welche über einen Personenaufzug zur untersten Ebene des Bahnhofes erreicht werden kann. Die Strecke starten unweit des Aufzuges, um die Erreichbarkeit für die Fahrgäste zu optimieren. Bei Ein-/Ausfahrt der Tiefgarage wird ein Schrankensystem gekreuzt. Die Tiefgarage liegt an der übertunnelten Oelrainstrasse, die nach dem Ende des Tunnels auf den Kreisverkehr trifft. Am Kreisverkehr mündet die Option in den gemeinsamen Teil der Variante 1.

Für die Streckenvariante 1 mit ihren zwei Optionen wurden folgende Punkte identifiziert, für die ein Handlungsbedarf zur Senkung der Komplexität und Vermeidung von möglichen Konflikten besteht, sowie Lösungsansätze ermittelt:

Streckenpunkt	Lösungsansatz
<b>1.a Unterer Bahnhofsvorplatz</b>	
Bahnhofsvorplatz: <ul style="list-style-type: none"> <li>• Fußgängerzone mit regelmäßigem Marktgeschehen bzw. Bestuhlung auf dem Platz durch Gastgewerbe (Foto siehe Anhang 1)</li> <li>• Änderungen dieser Umgebung und viel Fußverkehr zu erwarten</li> <li>• Lage der Endhaltestelle (Platz zum Wenden benötigt)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Streckenverkürzung: Start im östlichen Bereich des unteren Bahnhofsvorplatzes (vorn auf der Plattform)</li> <li>• Freizuhaltenen Korridor für Fahrzeuge inkl. Wendepunkt schaffen (Abstimmung mit Unternehmen vor Ort)</li> <li>• Eventuell bidirektional ausgestattete Fahrzeuge beschaffen (kein Wenden erforderlich)</li> <li>• Geringere Geschwindigkeit wegen Fuß- und Radverkehr</li> </ul>



Streckenpunkt	Lösungsansatz
<p>Östliche Fußgängerrampe:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Fahrbahnbreite: Engstelle mit etwa 2,40 m sehr schmal (Foto siehe Anhang 2)</li> <li>• Keine Begegnung mit Fußgängern/Radfahrern möglich</li> <li>• Eventuell zu wenige Orientierungspunkte für Laser-Sensorik</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Sondergenehmigung zur (ausschließlichen) Befahrung der Fußgängerrampe</li> <li>• Verbreiterung der Engstelle auf 2,70 m</li> <li>• Lösung für Fußgängertreppe, die die unterste Ebene mit der mittleren verbindet (Sperrung, Verlegung oder Verbreiterung)</li> <li>• Eventuell Anbringung von Orientierungspunkten für die Sensorik (Landmarker, Schilder, Pfosten)</li> <li>• Geringere Geschwindigkeit wegen schmaler Fahrbahn</li> </ul>
<p>Verbindung Kreisverkehr/Bäderstr. mit Fußgängerrampe:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Verbindung zwischen Fußgängerrampe und Kreisverkehr oder Bäderstr. aus verkehrlichen Gründen herausfordernd (Foto siehe Anhang 3)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Sondergenehmigung zur Befahrung des Fußweges entlang des Kreisverkehrs (östliche Richtung)</li> <li>• Zufahrt von Fußweg zur Bäderstr. und zurück durch bauliche Lösung herstellen</li> <li>• Eventuell Vorfahrtsregelung für Shuttle-Fahrzeuge einrichten (Lichtsignalanlage mit Vorrangschaltung oder Beschilderung)</li> <li>• Sonstige Verkehrsregelung in Abstimmung mit Straßenverkehrsbehörde</li> </ul>
<p><b>1.b Tiefgarage</b></p>	
<p>Höhe:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Höhe mit etwa 2,50 m (Schätzung) zu niedrig für Mehrzahl der etablierten Fahrzeugmodelle (Foto siehe Anhang 5)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Erhöhung der Durchfahrtshöhe im Bereich der Abstellplätze der Fahrzeuge und Haltestelle durch bauliche Maßnahmen</li> <li>• Alternativ: Ausschluss von Fahrzeugmodellen mit &gt;2,50 m Höhe</li> </ul>
<p>Schrankensystem:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Durchfahrung des Schrankensystems an Parkhauszufahrt erforderlich (Foto siehe Anhang 4)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Automatisierte Durchfahrung der Zufahrtsschranke über Chip o. ä. in den Shuttle-Bussen</li> </ul>
<p>Lokalisierung:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Kein Funknetz- und Satelliten-Empfang im Tunnel und der Tiefgarage</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Installation von Indoor-Lokalisierung (je nach Anforderung des gewählten Fahrzeugmodells)</li> </ul>
<p><b>Gemeinsamer Streckenverlauf ab Kreisverkehr (Bäderstr./Oelrainstr./Haselstr.)</b></p>	
<p>Lokalisierung:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Verlust des Satellitensignals bei Hausdurchfahrt (3,40 m Höhe) auf Höhe Blumengässchen/Schiefe Brücke (Foto siehe Anhang 6)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Über kurzen Abschnitt durch Orientierung an Landmarkern (für Laser-Sensorik) ausgleichbar</li> </ul>

Streckenpunkt	Lösungsansatz
<b>Fahrspurbreite:</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Schmale Fahrbahn ab Kreuzung Bäderstr./Schiefe Brücke (Foto siehe Anhang 7)</li> <li>• Kein Gegenverkehr und damit keine Begegnungen der Shuttle-Fahrzeuge möglich</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Lichtsignalanlage installieren, um Befahrung zu regeln</li> <li>• Hinweisschilder für Vorfahrt für autonome Shuttles anbringen</li> </ul>
<b>Parken im Straßenraum:</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Freies, nicht gekennzeichnetes Parken am Fahrbahnrand bzw. Freihalten der (Sonder-)Parkzone (Foto siehe Anhang 8)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Einrichtung von Parkverboten außerhalb von gekennzeichneten und stets frei zu haltenden Flächen</li> <li>• Aufhebung (Sonder-)Parkzone</li> </ul>

Tabelle 2: Streckenpunkte und Lösungsansätze der Variante 1

## Variante 2

Die im Umlauf 1,5 km lange Variante 2 beginnt in der Fußgängerzone auf der mittleren Ebene, entweder direkt am Bahnhofsgebäude (Ausgang Altstadt) oder weiter vorn auf der Plattform. Dies sorgt für eine gute Sichtbarkeit des Shuttle-Bus-Angebotes. Ein neu zu bauender Lastenaufzug am östlichen Rand bringt das Fahrzeug samt Fahrgästen hinunter zur Limmatpromenade. Die Strecke verläuft am Fluss entlang auf der Limmatpromenade, anschließend über den Kurplatz und mündet ebenfalls in die Bäderstrasse.

Für die Streckenvariante 2 wurden folgende Punkte identifiziert, für die ein Handlungsbedarf zur Senkung der Komplexität und Vermeidung von möglichen Konflikten besteht sowie Lösungsansätze ermittelt:

Streckenpunkt	Lösungsansatz
<b>Bahnhofsvorplatz:</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Fußgängerzone mit regelmäßigem Marktgeschehen bzw. Bestuhlung auf dem Platz durch Gastgewerbe (Foto siehe Anhang 1)</li> <li>• Änderungen dieser Umgebung und viel Fußverkehr zu erwarten</li> <li>• Lage der Endhaltestelle (Platz zum Wenden benötigt)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Streckenverkürzung: Start im östlichen Bereich des unteren Bahnhofsvorplatzes (vorn auf der Plattform)</li> <li>• Freizuhaltenden Korridor für Fahrzeuge inkl. Wendepunkt schaffen (Abstimmung mit Unternehmen vor Ort)</li> <li>• Eventuell bidirektional ausgestattete Fahrzeuge beschaffen (kein Wenden erforderlich)</li> <li>• Geringe Geschwindigkeit wegen Fuß- und Radverkehr</li> </ul>
<b>Verbindung zwischen mittlerer Ebene und Limmatpromenade noch nicht vorhanden</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Lastenaufzug neu planen und errichten</li> </ul>
<b>Fahrspurbreite:</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Schmale Fahrbahn auf Großteil der Strecke lässt wenige Begegnungsfälle zu (Foto siehe Anhang 9 und 10)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Einrichten von Ausweichmöglichkeiten</li> </ul>

Streckenpunkt	Lösungsansatz
Fahrbahnbelag: <ul style="list-style-type: none"> <li>• Denkbare Ausweichbuchten zum Teil nicht asphaltiert, wassergebundene Decke nicht befahrbar</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Asphaltierung der Ausweichbuchten</li> </ul>
Vegetation: <ul style="list-style-type: none"> <li>• Oberhalb der Fahrspur geschlossene Baumdecke (Foto siehe Anhang 10)</li> <li>• In die Fahrspur hineinragende Grünpflanzen</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Regelmäßiger Schnitt der Bäume und Grünpflanzen</li> <li>• Eventuell Anbringung von Orientierungspunkten für die Sensorik bei fehlendem Satelliten-/Funksignal (Landmarker, Schilder, Pfosten)</li> </ul>
Lokalisierung: <ul style="list-style-type: none"> <li>• Verlust des Satellitensignals bei Durchfahrt Schiefe Brücke und Hausdurchfahrt auf Höhe Limmathof Baden (Foto siehe Anhang 11)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Verlust des Satellitensignals über kurzen Abschnitt durch Orientierung an Landmarkern eventuell ausgleichbar</li> </ul>

Tabelle 3: Streckenpunkte und Lösungsansätze der Variante 2

## 4. Betriebskonzeption

Für die grobe Konzeption eines Regelbetriebes werden im Folgenden die Umlaufzeiten, die Fahrgastkapazitäten, die Betriebsform, der Fahrzeug- sowie der Fahrpersonal-Bedarf ermittelt. Zudem werden die Anforderungen an Abstell- und Lademöglichkeiten erläutert. Die Empfehlungen für den Pilotbetrieb bilden das Ende dieses Unterkapitels.

Die Umlauflänge für die Strecken beträgt 1,5 bis 1,8 Kilometer. Ausgehend von einer durchschnittlichen Fahrtgeschwindigkeit von 10 km/h und der Zeit, die für Haltestellenanfahrten von vier Haltepunkten für den Fahrgastwechsel und für das Wenden eingeplant werden muss, beträgt die Umlaufzeit etwa 15 Minuten, für eine Richtung 7,5 Minuten. An der vorhandenen Haltestelle am Casino („Baden, Freihof“) wird ein Bedarfshalt angeboten. Obwohl die Streckenvariante 2 etwas kürzer ist, wird sich die Fahrzeit durch die Befahrung des Lastenaufzuges voraussichtlich nicht deutlich von Variante 1 unterscheiden.

Die Betriebszeiten sollten sich an den Öffnungszeiten des Thermalbades orientieren [Annahme: Montag bis Sonntag, 09.00 – 22.00 Uhr (13 Stunden)]. Es wird eine Besucherzahl von täglich etwa 1.200 Personen erwartet. Unter der Annahme, dass die Hälfte der täglichen Besucher mit dem ÖPNV anreist, ergibt sich eine potenzielle Fahrgastanzahl von ungefähr 600 Personen pro Tag. Bei einer Gleichverteilung über die Betriebszeit von 13 Stunden wären dies 50 Personen pro Stunde und Richtung. Die Kleinbusse haben eine Sitzplatzanzahl zwischen 6 und 12 Sitzplätzen. Sofern man von der kleinsten Kapazität ausgeht, müssten zur Beförderung von 50 Personen/Stunde ungefähr 8 Fahrten stattfinden. Je Stunde und Richtung erfordert es also mindestens einen 7,5-Minuten-Takt. Mit drei Fahrzeugen wäre ein 5-Minuten-Takt darstellbar. Für den Fall von Wartungsausfällen oder Zwischenladezeiten sollte zusätzlich ein Reservefahrzeug vorgehalten werden. Demnach sollten für den Regelbetrieb vier Fahrzeuge eingeplant werden. Als Betriebsform wird aufgrund der hohen benötigten Kapazität durch das erwartete Besucheraufkommen ein Linienbetrieb mit Zwangshalt an den End-Haltestellen empfohlen.

Die Fahrzeuge werden mittel- bis langfristig ohne Personal an Bord fahren. In der Übergangszeit werden als nächste Stufe Fahrzeugbegleiter eingesetzt werden, die sich nicht direkt im Fahrzeug befinden, sondern dieses bzw. mehrere gleichzeitig von einer Leitstelle aus überwachen und bei Störungen oder Anfragen/Vorfällen im Fahrzeug eingreifen. Einzelne Fahrzeughersteller testen diese Funktionen bereits erfolgreich auf Privatgeländen. Für den Regelbetrieb sind mindestens zwei Personen für die Überwachung aus einer beim Betreiber einzurichtenden Leitstelle einzuplanen. Der tatsächliche Bedarf hängt von den Betriebstagen und -zeiten aus, die im Betriebskonzept festgelegt werden. Für den Pilotbetrieb ist davon auszugehen, dass Operator/innen an Bord mitfahren müssen.

Für die Fahrzeuge ist eine Abstellmöglichkeit mit Ladeinfrastruktur außerhalb der Betriebszeit erforderlich. Die Unterstellung sollte möglichst in unmittelbarer Nähe zur Streckenführung eingerichtet werden (bspw. Mätelipark) und vor Witterung und Vandalismus schützen (Temperaturen von 5 bis 30° C). Geeignet wären eine abschließbare Garage am Bäderquartier oder für den Pilotbetrieb Stellplätze in der Tiefgarage. Eine Lösung mit Zelt oder Container ist auch geeignet, solange die Beheizung im Winter gewährleistet ist. Die Maße des gewählten Fahrzeugmodells müssen dabei beachten werden [üblicherweise 3 x 4 x 6 m (H x B x L)]. An der Endhaltestelle am Bäderquartier sollten Lademöglichkeiten installiert werden (induktiv, falls kompatibel mit gewähltem Fahrzeugmodell).

Für den Pilotbetrieb wird empfohlen, mit einem weniger dichten Takt zu starten und damit verbunden weniger Fahrzeuge und Personal einsetzen zu müssen. Für die erste Stufe sind ein oder zwei Fahrzeuge ausreichend. Bei einer täglichen Betriebszeit von beispielsweise acht Stunden werden pro Fahrzeug zwei Fahrbegleiter benötigt. Je nach gewünschter Konzeption des Pilotbetriebes kann der Bedarf an Fahrzeugen und Fahrpersonal flexibel gestaltet werden.

## 5. Aufwandsabschätzung

Die Aufwendungen für einen **Regelbetrieb mit vier Fahrzeugen** werden in Investitionsaufwendungen und jährliche Betriebskosten unterschieden und stellen erste Schätzungen auf Basis bisheriger Betriebserfahrungen und vorliegender Preise dar (Preis- und Kenntnisstand: Ende 2019). Der Betriebsaufwand wird vorbehaltlich der geltenden Rechtslage zum Start des Regelbetriebes ohne die Personalkosten für im Fahrzeug befindliche Operator/innen ausgewiesen, weil davon auszugehen ist, dass mittelfristig die Überwachung mehrerer Fahrzeuge aus einer Leitstelle möglich sein wird. Ob dies zum Start des Regelbetriebes dem Stand von Technik und Recht voll entsprechen wird, kann zum aktuellen Zeitpunkt nicht verbindlich festgestellt werden. Die Kosten für den Lastenaufzug zur Limmatpromenade werden ebenfalls nicht ausgewiesen, da sie nicht Gegenstand der Vorstudie sind. Gleiches gilt für einzelne Infrastrukturanpassungen, diese können erst im Rahmen der Projektierung ermittelt werden.

Für einen Pilotbetrieb mit einem oder zwei Fahrzeug/en verringern sich die Aufwendungen entsprechend der erforderlichen Fahrzeuganzahl. Für diese erste Stufe sind Operator/innen einzuplanen und einzukalkulieren. Der Bedarf ist abhängig von den Anforderungen der lokalen Genehmigungsbehörden (Führerscheinklasse) und dem vorgesehenen Betriebsprogramm (u. a. Fahrgastplätze, Fahrzeugmodell). Mit dem Betreiber ist im nächsten Schritt ein konkreter Planfall abzustimmen und die Aufwandsplanung entsprechend zu konkretisieren.

Posten	Ansatz pro Einheit	Aufwand	Anmerkungen
<b>Einmalige Aufwendungen</b>			
Fahrzeugkauf	350.000 €	1.400.000 €	3 + 1 Fahrzeuge (optional auch Miete möglich)
Technisches Gutachten	75.000 €	75.000 €	
Transport	4.000 €	16.000 €	Anlieferung von 4 Fahrzeugen
Satellitenkorrektur (fest installiert)	12.000 €	12.000 €	GNSS-Basisstation oder je nach Hersteller NRTK-Vertrag (dann laufende Kosten)
Haltestellen	4.000 €	8.000 €	Ausbau von zwei Haltestellen
Ladeinfrastruktur	5.000 €	10.000 €	Zwei Ladesäulen
Verkehrliche Maßnahmen	10.000 €	10.000 €	z. B. Schilder, Fahrbahnmarkierungen, Grünschnitt
Einbindung Leitstelle	20.000 €	20.000 €	Hardware zum Flottenmanagement/Disposition
Folierung	1.000 €	4.000 €	
Streckenanalyse	6.000 €	6.000 €	Durch gewählten Fahrzeughersteller
Deployment	13.000 €	26.000 €	Kartographierung, Programmierung der Strecke/n (zu Beginn und wiederholt bei Änderungen der Umgebung)
Schulung Leitstellenpersonal	7.000 €	7.000 €	für 2 Personen (bei Änderungen im Personalstamm wiederholt erforderlich)
Umsetzungsvorbereitung und -planung	250.000 €	250.000 €	Schätzwert, je nach Beratungsumfang Abweichungen möglich
<b>Zwischensumme</b>	<b>-</b>	<b>1.850.000 €</b>	<b>Investitionsaufwand (gerundet)</b>

Tabelle 4: Abschätzung der einmaligen Aufwendungen für einen Regelbetrieb mit vier Fahrzeugen in Baden

Posten	Ansatz pro Einheit p. a.	Aufwand	Anmerkungen
<b>Laufende Aufwendungen</b>			
Lizenz Leitstellensoftware	15.000 €	15.000 €	
Supervision und Lizenz	18.000 €	72.000 €	Vom Fahrzeughersteller
Abstellen und Laden	12.000 €	48.000 €	Unterstellung und Strom
Reinigung	1.500 €	6.000 €	
Wartung und Instandhaltung	32.000 €	128.000 €	Vom Fahrzeughersteller
Satellitenkorrektur (Vertrag)	2.400 €	9.600 €	NRTK-Vertrag oder je nach Hersteller GNSS-Basisstation (dann einmalige Kosten)
Mobilfunkverbindung	800 €	3.200 €	Mobilfunkverträge für Fahrzeugsystem und Smartphone
Kfz-Versicherung	10.000 €	40.000 €	Für 4 Fahrzeuge
Personalkosten Leitstelle	80.000 €	160.000 €	Arbeitgeberbrutto für zwei Personale
<b>Zwischensumme</b>	<b>-</b>	<b>500.000 €</b>	<b>Betriebsaufwand p. a. (gerundet)</b>

Tabelle 5: Abschätzung der laufenden Aufwendungen für einen Regelbetrieb mit vier Fahrzeugen in Baden

Betriebs- laufzeit	Gesamtaufwand Gerundete Summen für einmalige und laufende Aufwendungen eines Regelbetriebes mit vier Fahrzeugen (mit fest installierter Satellitenkorrektur/ohne NRTK)
1 Jahr	Ca. 2.400.000 €
3 Jahre	Ca. 3.400.000 €
5 Jahre	Ca. 4.300.000 €

Tabelle 6: Abschätzung des Gesamtaufwandes für einen Regelbetrieb mit vier Fahrzeugen in Baden

## 6. Bewertung der Machbarkeit

Für den Einsatz von automatisierten Shuttle-Bussen wird die Machbarkeit auf beiden Streckenvarianten (inkl. Optionen Variante 1) grundsätzlich positiv bewertet. Anhand der Untersuchung der technologischen und rechtlichen Perspektive sind sie als technisch umsetzbar und genehmigungsfähig einzustufen. Die Punkte mit Handlungsbedarf wurden ermittelt, jedoch lassen sich für alle Punkte Lösungsansätze finden, welche in der weiteren Planung in Abstimmungen mit den lokalen Akteuren und in Abhängigkeit vom gewählten Fahrzeugmodell näher untersucht werden müssen. Im nächsten Schritt muss außerdem die Bewertung der geplanten Streckenführung aus Sicht der Politik und Gesellschaft ermittelt und einbezogen werden. Da es sich um die Nutzung von öffentlichem Verkehrsraum handelt, ist die Abwägung anderer Interessen erforderlich, beispielsweise die Fuß- und Radwegführung, welche bei den Varianten 1.a und 2 beeinflusst wird.

Bei Variante 1.a stellen die Engstelle an der Fußgängerrampe und die Verbindung zur Bäderstrasse vom Fußweg eine Herausforderung dar. Variante 1.b bedarf einer Lösung für die Höhe der Tiefgarage, für die Orientierung des Fahrzeugsystems (Indoor-Lokalisierung) und die Kommunikation mit dem Schrankensystem. Sollte sich die Deckenhöhe der Tiefgarage nicht verändern lassen, würde das zum Ausschluss der meisten Fahrzeugmodelle führen, da diese höher als 2,5 Meter sind. Zudem ist im weiteren gemeinsamen Streckenverlauf der Variante 1 der Umgang mit der schmalen Fahrbahn im Bäderquartier zu regeln.

Für die Variante 2 entlang der Limmatpromenade ist ein neuer Lastenaufzug zu planen und umzusetzen. Wegen der schmalen Fahrbahn müssen asphaltierte Ausweibuchten eingerichtet werden. Aufgrund des Charakters einer Spazierstrecke kann der Umsetzung im Regelbetrieb mit mehreren Fahrzeugen eventuell zu einer Konkurrenzsituation mit dem Fuß- und Radverkehr führen. Die üppige Vegetation auf der Strecke kann eine Herausforderung für die Satelliten- und Funkverbindung darstellen.

Im Ergebnis wird empfohlen, zunächst einen Pilotbetrieb in Baden einzurichten. So kann mit einem oder zwei automatisierten Shuttle-Fahrzeug/en sowie einem Reservefahrzeug der Betrieb in einer ersten Stufe getestet werden, um Erfahrungen für den Regelbetrieb zu sammeln. Aus verkehrlichen Gründen wird dazu die Strecke 1.b mit Start in der Tiefgarage präferiert. Diese Variante ist über den vorhandenen Personenaufzug gut und barrierefrei erreichbar und ist voraussichtlich mit dem geringsten infrastrukturellen und verkehrlichen Aufwand verbunden. Für den Regelbetrieb bietet sich auch die Streckenvariante 1.a an, die durch die hohe Visibilität des Shuttle-Angebotes zum Bäderquartier überzeugt. Aufgrund des Mehraufwandes bei der Umgestaltung der Infrastruktur sowie wegen des Abstimmungsbedarfes mit Politik und Gesellschaft wird die Umsetzung der Variante 1.a jedoch als zweite Stufe und mit vier Fahrzeugen empfohlen. Perspektivisch könnte eine Erweiterung mit einem Rundkurs über die Limmatpromenade eingerichtet werden.

Es ist darauf hinzuweisen, dass im Zuge des Genehmigungsprozesses andere Regelungen getroffen werden können als hier dargestellt. Sowohl für den Einsatz der Fahrzeuge auf öffentlichen Straßen als auch für den Linienverkehr sind Genehmigungen einzuholen, welche an bestimmte Bedingungen geknüpft sein können.

Den Hauptkostenpunkt stellen der Fahrzeugkauf bzw. die Miete und der Personalaufwand für die Begleiter/innen dar, solange letztere noch benötigt werden. Die in Kapitel 5 abgeschätzten Aufwendungen für einen Regelbetrieb mit vier Fahrzeugen für den Zeitpunkt, zu dem aus technologischen und rechtlichen Gründen kein Fahrpersonal mehr an Bord anwesend sein muss, liegen bei ca. 2,4 Mio. € für ein Jahr, ca. 3,4 Mio. € für fünf und ca. 4,3 Mio. € für sieben Jahre. Diese Schätzungen sind von vielen Faktoren abhängig, die im weiteren Planungsverlauf konkretisiert werden müssen und sind daher aktuell als Richtgröße zu verstehen. Für einen Pilotbetrieb mit einem oder zwei Fahrzeug/en verringern sich die Aufwendungen entsprechend der erforderlichen Fahrzeuganzahl und dem Fahrpersonal. Mit dem Betreiber ist im nächsten Schritt ein konkreter Planfall abzustimmen und die Aufwandsplanung entsprechend zu konkretisieren.

Bisher sind Fahrzeugführer, die das Fahrzeugsystem jederzeit eigenhändig übersteuern können, vom Gesetz vorgeschrieben. Aktuell werden in mehreren Umsetzungsprojekten neue Fahrzeugmodelle eingeführt. Es ist damit zu rechnen, dass insbesondere durch Impulse aus dem Automobilbau gegenüber den bisherigen Pilotierungen gesteigerte verkehrliche Reifegrade erreicht werden. Diese können in Baden eingesetzt, getestet und gemeinsam mit dem lokalen Netzwerk aus Forschung und Unternehmen für den Regelbetrieb qualifiziert werden. Der Verkehrsnutzen auf der Strecke zwischen Bahnhof und Bäderquartier sowie der hohe Erkenntnisgewinn und Innovationsimpuls im Bereich des autonomen Fahrens, der sich durch den Betrieb des Shuttle-Verkehres ergibt, stehen somit dem Aufwand als Chancen gegenüber und rechtfertigen die ausführliche Untersuchung der Machbarkeit und die Weiterverfolgung eines möglichen Betriebs

Vor der Inbetriebnahme sind folgende Schritte durchzuführen:

- Finale Entscheidung zum Betriebskonzept (Streckenvarianten, Fahrzeugeinsatz und Betriebszeiten)
- Einbindung von Politik und Gesellschaft in die Umsetzungsvorbereitung (Behörden, Bürger/innen, Interessenverbände etc.)
- Klären der Finanzierung einer Umsetzung (Investition und Betrieb, Förderprogramme)
- Klären des detaillierten Zeitplanes zur Umsetzung
- Beschreiben der Anforderungen an das System (Fahrzeug, Straßeninfrastruktur, Überwachung) im Detail als Vorlauf zur Fahrzeugbeschaffung sowie Genehmigung des automatisierten Betriebes
- Detailplanung zur Umsetzung für Testbetrieb, Durchführen einer detaillierten Risikoanalyse
- Klärung Beschaffungsprozess und Beschaffung des Fahrzeugs/der Fahrzeuge
- Klärung Zulassungsvoraussetzungen sowie Absprachen mit der Verwaltung bezüglich notwendiger verkehrlicher Maßnahmen
- Klärung zur Durchführung der Wartung und Instandhaltung im Auftrag des Herstellers
- Klärung zum Genehmigungsinhaber und Betreiber
- Einholen von Genehmigungen für den Betrieb der Linie
- Formulieren und Schließen von vertraglichen Regelungen zum Abstellen und Laden der Fahrzeuge
- Durchführen der Personalplanung, -beschaffung und Ausbildung von Begleitpersonal
- Entwicklung von Vermarktungsstrategien
- Bauliche und verkehrstechnische Umsetzungsvorbereitung
- Start des Testbetriebs und danach Einrichtung des Regelbetriebs
- Auswertung der ersten Erfahrungen nach Beginn des Betriebs, eventuelle Anpassungen

## 7. Ausblick

Im Bäderquartier bietet sich die Chance, den Einsatz in einem Anwendungsfall mit konkretem verkehrlichem Nutzen zu testen und aus dem Betrieb Rückschlüsse auf einen Regelbetrieb sowie auf weitere sinnvolle Einsatzfälle in Baden zu ziehen. Dazu wird die Einrichtung eines Pilotbetriebes zur Eröffnung des neuen Thermalbades im letzten Quartal des Jahres 2021 empfohlen. Aufbauend auf diesen Erfahrungen kann im nächsten Schritt der Regelbetrieb geplant und umgesetzt werden.

Abbildung 3 zeigt eine mögliche Zeitplanung für Umsetzungsplanung und -vorbereitung des Pilotbetriebes bis zum vierten Quartal 2021. Die erforderlichen Schritte wurden basierend auf den Erfahrungen ähnlicher Projekte zusammengestellt und gelten vorbehaltlich der für den Kontext in Baden gültigen Genehmigungs- und Vergabeverfahren sowie der Verfügbarkeit von Fahrzeugen und Personal.

Im Zuge der Entwicklung des Pilotbetriebs bieten sich viele Anknüpfungspunkte für weitere Mobilitätsangebote, die gemeinsam ein ganzheitliches, innovatives und inklusives Mobilitätssystem für ähnliche Anwendungsfälle in der Stadt Baden ergeben können. Im Zuge der Vorbereitung des Pilotbetriebs für den automatisierten Shuttle-Verkehr sollten daher auch Ideen für weitere Mobilitätsbausteine entwickelt, vielversprechende Ideen weiterverfolgt und gegebenenfalls ergänzende Studien durchgeführt werden.

		2020		2021			
		Q3	Q4	Q1	Q2	Q3	Q4
<b>Umsetzungsplanung</b>							
2100	Einbindung von Politik und Gesellschaft						
2200	Detaillierung systemunabhängige Risikoanalyse, Infrastruktur						
2300	Detaillierung Betriebskonzept						
2400	Vorbereitung Genehmigungen						
2500	Lastenheft						
2600	Finanzierung						
2700	Projektmanagement						
<b>Umsetzungsvorbereitung</b>							
3100	Fahrzeugbeschaffung						
3200	Infrastrukturelle Maßnahmen						
3300	Betriebsgenehmigungen						
3400	Betriebliche Organisation						
3500	Personalmanagement						
3600	Öffentlichkeitsarbeit						
3700	Projektmanagement						

Abbildung 3: Grobe Zeitplanung für die Einrichtung eines Pilotbetriebes in Baden



## Anhang



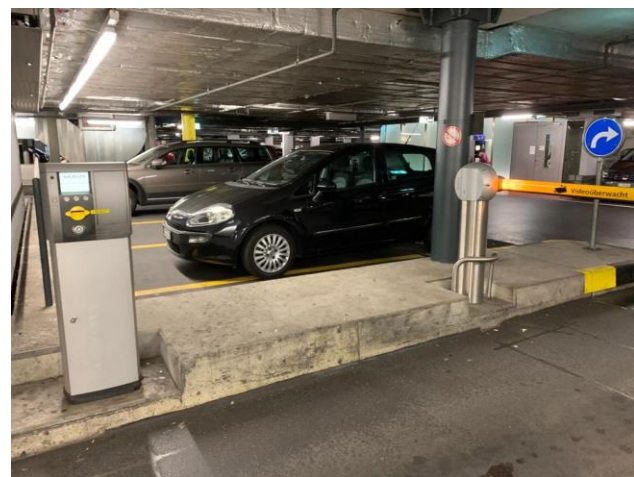
Anhang 1: Gemischt genutzte Fußgängerzone (Bild: Eigene Aufnahme)



Anhang 2: Engstelle entlang der Fußgängerrampe (Bild: Eigene Aufnahme)



Anhang 3: Einfahrt auf den Kreisverkehr (Bild: Eigene Aufnahme)



Anhang 4: Schrankensystem in der Tiefgarage (Bild: Eigene Aufnahme)



Anhang 5: Niedrige Höhe der Tiefgarage (Bild: Eigene Aufnahme)



Anhang 6: Hausdurchfahrt und schmale Fahrbahn (Bild: Eigene Aufnahme)



Anhang 7: Schmale Fahrbahn (Bild: Eigene Aufnahme)



Anhang 8: (Sonder-)Parkzone (Bild: Eigene Aufnahme)



Anhang 9: Engstelle (Bild: Eigene Aufnahme)



Anhang 10: Schmale Fahrbahn, geschlossene Baumdecke (Eigene Aufnahme)



Anhang 11: Hausdurchfahrt (Bild: Eigene Aufnahme)