

12.20

Lizenziert für die Rhein-Main-Verkehrsverbund Servicegesellschaft mbH.
Die Inhalte sind urheberrechtlich geschützt.

V+T Verkehr und Technik

73. Jahrgang
Dezember 2020
Seite 417 – 464

www.VTdigital.de

Organ für den Öffentlichen Personennahverkehr (ÖPNV)
Verkehrstechnik · Verkehrswirtschaft · Verkehrspolitik



Abstand halten – Sicherheit und Servicequalität erhöhen.

#INIT
together

COVID-19 hat den ÖPNV kurzfristig aus der Spur gebracht. Nun gilt es, Kunden zurückzugewinnen – und die Sicherheit für Personal und Fahrgäste zu erhöhen. Viele Maßnahmen, die dazu nun ergriffen werden, erhöhen auch in normalen Zeiten die Servicequalität. Und tragen damit ebenso zum langfristigen Erfolg des ÖPNV bei.

- Kontaktloses Bezahlen
- Echtzeit-Fahrgastzählung
- Besetzgradabhängige Mobilitätsentscheidungen
- Fahrgastlenkung

Sprechen Sie mit uns oder fordern Sie eine Online-Demo an.

sales@initse.com | www.initse.com | INIT Group



init
The Future of Mobility

TORSTEN SCHMIDT | THORSTEN MÖGINGER | TIM JOHANNES | RAINER WILLIG |
MARKUS MENZEL | TOBIAS SCHREIBER

Meilensteine im Projekt „EASY“ von der Idee bis hin zum ersten Testfeld

Genehmigungsverfahren und Betrieb im Rahmen des ersten Testfelds am Frankfurter Mainufer

Projekt EASY und erstes Testfeld am Frankfurter Mainufer - Fahrzeugtechnik und Strecke - Realisierung des Genehmigungsverfahrens - Betrieb des Testfeldes - Ausblick/Fazit

1. Projekt EASY und erstes Testfeld am Frankfurter Mainufer

1.1 Allgemein

In der Digitalisierungsstrategie des Rhein-Main-Verkehrsverbundes (RMV) wurde u. a. das autonome Fahren als einer der Trends identifiziert, die einen grundlegenden Einfluss auf die Mobilität von Morgen haben werden. Eines der Handlungsfelder, die aus der Strategie abgeleitet wurden, ist der Aufbau von Know-how im Bereich des autonomen Fahrens. Zukünftig wird autonomes Fahren die konsequente Ergänzung und Weiterentwicklung der intelligenten Mobilität sein. Voll elektrisch, CO₂-frei, leise, sicher, effizient, flexibel und perspektivisch als On-Demand Lösung bietet das autonome Fahren eine vollkommen neue Möglichkeit, mobil zu sein.

Im Rahmen des Projektes „EASY“ (Electric Autonomous Shuttle for You / Deutsch: Elektrisch Autonom fahrendes Fahrzeug für Dich) sammelt der RMV in verschiedenen Testfeldern mit weiteren Partnern erste Erfahrungen mit hochautomatisierten Fahrzeugen (siehe Bild 1). Ziel des Projektes ist es, zu technischen und verkehrlichen Herausforderungen ebenso wie zu etwaigen Nutzungshemmnissen durch den Kunden praktische und betriebliche Erfahrungen zu gewinnen. Außerdem soll die Möglichkeit geboten werden, die neue Technologie selbst zu erleben und auf diese Weise Akzeptanz für die neuartige Technik in der Bevölkerung zu schaffen.

1.2 Einbindung der Partner

Um die Aufgabenteilung im Rahmen des Projektes besser verstehen zu können, ist zunächst ein Blick auf das hessische ÖPNV-Gesetz sinnvoll. Im Gesetz über den öffentlichen Personennahverkehr in Hessen (ÖPNVG) ist u. a. die dezentrale Struktur des Rhein-Main-Verkehrsverbundes (RMV) festgelegt. Diese besteht aus lokalen Nahverkehrsorganisationen (LNO) für die lokale Aufgabenträgerschaft sowie regionaler Aufgabenträgerschaft in Verantwortung des RMV.

Im Hinblick auf die Vielzahl geplanter Testfelder war schnell klar, dass eine zentrale Steuerung und Koordination des Projektes sowie Beschaffung der Fahrzeuge unabhängig von einzelnen Testfeldern erfolgen mussten. Daher wurde zwischen dem RMV sowie seinen Töchtern Fahrzeugmanagement Region Frankfurt Rhein Main GmbH (fahma) und Rhein-Main-Verkehrsverbund Servicegesellschaft mbH (rms) zunächst ein Kooperationsvertrag über die gesamte Projektdauer geschlossen. Dieser sieht unter anderem die Projektsteuerung und das Controlling bei der rms sowie die Beschaffung und Bereitstellung der Fahrzeuge bei der fahma vor:

- Zur Einbindung von einzelnen, lokalen Testfeldern bestehen Kooperationsverträge zwischen dem RMV sowie der lokalen LNO – im Falle von Frankfurter Testfeldern mit der traffiQ Lokale Nahverkehrsgesellschaft Frankfurt am Main mbH (traffiQ).
- Die LNO beauftragt ein Verkehrsunternehmen mit der Durchführung des Betriebes – im Falle von Frankfurter Testfeldern hat traffiQ die Stadtwerke Verkehrsgesellschaft Frankfurt am Main (VGF) mit der Betriebsdurchführung beauftragt.
- Aufgesetzt auf dieser Vertragskette erfolgt die Fahrzeugbereitstellung der fahma an das Verkehrsunternehmen – im Falle der Frankfurter Testfelder an die VGF (siehe Bild 2).

Damit orientierten sich die Zuständigkeiten an den heutigen Strukturen im RMV. Bei der Fahrzeugbereitstellung musste jedoch etwas umgedacht werden. So ist für den

Torsten Schmidt,
Straßengebundener
ÖPNV, Fahrzeugma-
nagement Region
Frankfurt RheinMain
GmbH (fahma)

Thorsten Möglinger,
Teamleiter New Mobi-
lity, Rhein-Main-Ver-
kehrsverbund
Servicegesellschaft
mbH (rms)

Tim Johannes,
ehem. Junior Consul-
tant im Bereich New
Mobility, ehemals
Rhein-Main-Ver-
kehrsverbund Ser-
vicegesellschaft mbH
(rms)

Rainer Willig,
Stabsstelle NSI-
Betrieb Schiene,
Systemtechnik und
Innovation, stv. Be-
triebsleiter BOStrab,
und

Markus Menzel,
Fachbereichsleiter
Betriebsplanung
und Leistungserfas-
sung, Betriebsleiter
BOKraft, Stadtwerke
Verkehrsgesellschaft
Frankfurt am Main
(VGF)

Tobias Schreiber,
Alternative Antriebe/
Innovationen,
traffiQ Lokale Nah-
verkehrsgesellschaft
Frankfurt am Main
mbH (traffiQ)



Bild 1: Dachmarke „EASY“, links EasyMile und rechts NAVYA
(Bild: RMV)

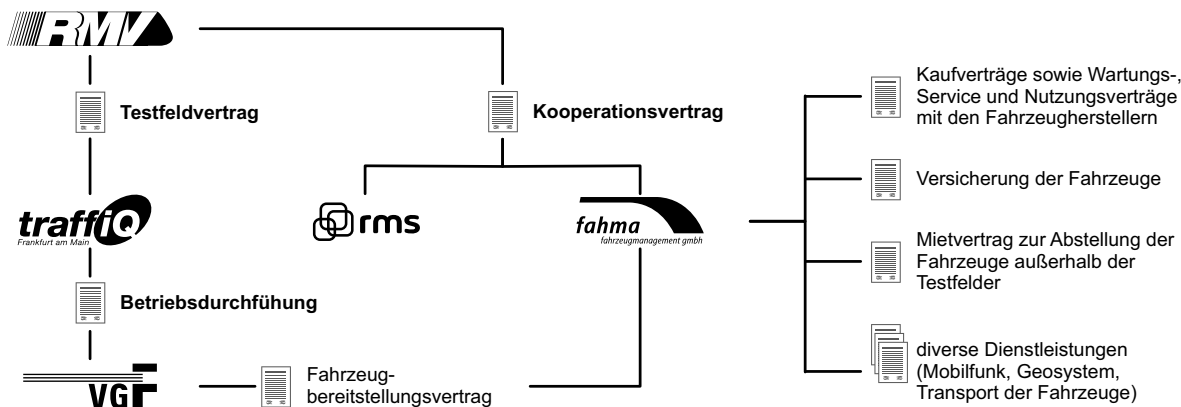


Bild 2: Übersicht über die Verträge zwischen Partnern und den Dienstleistungsverträgen der fahma (Bild: fahma)

Betrieb der Fahrzeuge eine Reihe von Dienst- und Serviceleistungen erforderlich, welche auf Grund von wechselnden Testfeldern idealerweise und beziehend auf das Zulassungsverfahren zwingend durch die fahma beauftragt werden mussten. Hierzu hat die fahma eine Reihe von Verträgen ausgearbeitet, abgestimmt und abgeschlossen:

- Kaufverträge sowie Wartungs-, Service- und Nutzungsverträge mit den Fahrzeugherstellern
- Versicherung der Fahrzeuge
- Mietvertrag zur Abstellung der Fahrzeuge außerhalb der Testfelder
- diverse Dienstleistungsverträge (u. a. Mobilfunk, Geosystem, Transport der Fahrzeuge)

Als vertragliche Basis zwischen fahma und VGF wurde auf den im Jahr 2005 abgeschlossenen Fahrzeugbereitstellungvertrag (FBV) für die Odenwaldbahn aufgesetzt, welcher der VGF als frühere Gesellschafterin der VIAS GmbH (nichtbundeseigene Eisenbahngesellschaft) bekannt war. Im Detail wurden hier Änderungen in Bezug auf das Besitzverhältnis, die Versicherung der Fahrzeuge sowie die Risikoverteilung vereinbart. Ferner wurde festgelegt, dass der Genehmigungsprozess gemeinsam angegangen wird. Die VGF übernahm dabei die Funktion des Genehmigungskoordinators, da sie aus dem Genehmigungsverfahren für Schienenbahnen nach der Verordnung über den Bau und Betrieb der Straßenbahnen (BOStrab) über entsprechende Erfahrungen verfügt (siehe Bild 2).

1.3 Fokus

Der Fokus des nachfolgenden Artikels liegt vor allem auf dem Zusammenspiel von Genehmigungsverfahren (August 2019), technischer Umsetzung (September 2019) und dem Betrieb (September 2019 bis März 2020).

2. Fahrzeugtechnik und Strecke

2.1 Fahrzeugtechnik

Bei den im EASY-Projekt eingesetzten Fahrzeugen handelt es sich um hochautomatisierte Elektroshuttle der französischen Hersteller EasyMile und NAVYA, welche auf einer vorprogrammierten Strecke – ähnlich einer virtuellen Schiene – starr einer Ideallinie folgend verkehren.

Die Lokalisierung der Fahrzeuge erfolgt über GNSS (inkl. GPS) und Wegstreckenzähler sowie acht LIDAR-Sensoren, welche eine Orientierung im Raum durch den Abgleich mit der zuvor eingemessenen Strecke ermöglichen. So können sich bewegende Objekte im Umfeld des Fahrzeuges erkannt werden, woraufhin das Fahrzeug reagiert. Befindet sich ein Hindernis im näheren Umfeld der programmierten Ideallinie, so verlangsamt das Fahrzeug automatisch seine Fahrgeschwindigkeit. Versperrt ein Hindernis den Weg, so bremst es automatisch ab. In Abhängigkeit der Entfernung zum Hindernis erfolgt eine normale betriebliche Abbremsung oder ein Nothalt des Fahrzeuges.

Aus rechtlichen und sicherheitstechnischen Gründen muss im Fahrzeug ein Fahrzeugführer bzw. Sicherheitsfahrer – auch Operator genannt – vorhanden sein. Der Operator ist im Fahrzeug, um den automatisierten Betrieb zu überwachen beziehungsweise zu kontrollieren. Im Normalfall greift er nicht ein, es sei denn, es muss von der eingestellten Ideallinie aufgrund eines Hindernisses abgewichen werden (siehe Bild 3).

Beide Fahrzeughersteller arbeiten bezüglich der Fahrzeugsteuerung aktuell an einem Software-Update. Zukünftig sollen die Fahrzeuge bei Hindernissen im Fahrweg, welche bei der Weiterfahrt nur eine unkritische und geringfügige Abweichung von der Ideallinie verursachen (z. B. geparktes KFZ am Fahrbahnrand steht nicht profilfrei), selbstständig von der Ideallinie abweichen und nach der Hindernisumfahrt wieder zur Ideallinie zurückfinden.

2.2 Erwerb der Fahrzeuge und Hintergründe

Eine der ersten Aufgaben des neu geschaffenen Bereichs des straßengebundenen ÖPNV bei der fahma war es, den rechtssicheren Kauf von gebrauchten autonomen Fahrzeugen für das Projekt EASY zu realisieren. Aus diesem Grund wurden zunächst Gespräche mit Fahrzeugherstellern und Verkäufern geführt. Dabei reifte die Erkenntnis, dass neben dem Kauf der Fahrzeuge auch verschiedenste Dienstleistungen für den Betrieb und die Instandhaltung der Fahrzeuge benötigt werden. Im Austausch mit der R+V-Versicherung, welche 2018 ein erstes autonomes Fahrzeug als hessischer Referenzbetrieb vom französischen Hersteller NAVYA erworben hatte, wurde deutlich,

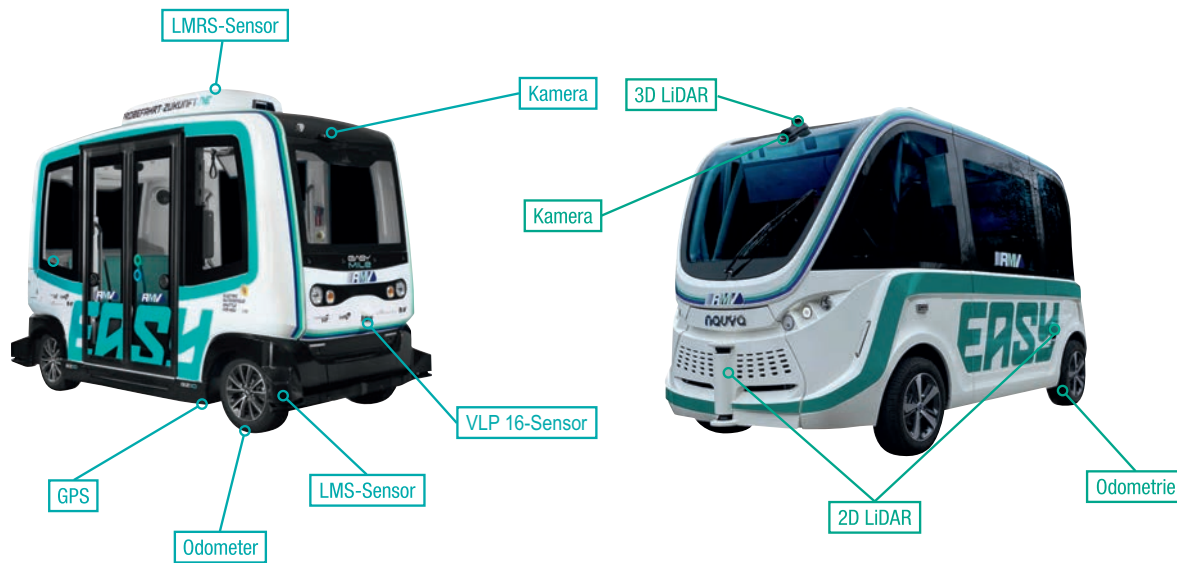


Bild 3: Sensoren am Fahrzeug EasyMile „EZ10 Gen 2“ und NAVYA „Arma DL3“ (Bild: RMV, Anpassung fahma)

dass der Genehmigungsprozess den weiteren Zeitplan des Projektes bestimmen würde.

2.3 Umbau der Fahrzeuge und Hintergrund der Genehmigung

Im Personennahverkehr werden in der Regel Fahrzeuge der Klasse M (Personenbeförderung) nach der „RICHTLINIE 2007/46/EG DES EUROPÄISCHEN PARLAMENTS UND DES RATES vom 5. September 2007 zur Schaffung eines Rahmens für die Genehmigung von Kraftfahrzeugen und Kraftfahrzeuganhängern sowie von Systemen, Bauteilen und selbstständigen technischen Einheiten für diese Fahrzeuge“ eingesetzt. Diese Richtlinie wurde zum 1.9.2020 durch die VO (EU) 2018/858 ersetzt.

Die gegenwärtig eingesetzten Fahrzeuge ohne EG-Zulassung entsprechen nicht vollständig den deutschen Bauvorschriften der Straßenverkehrszulassungsordnung (StVZO) und der Fahrzeug-Zulassungsverordnung (FZV). Damit ist eine Betriebserlaubnis für Einzelfahrzeuge nach § 21 der StVZO sowie eine Ausnahmegenehmigung nach § 70 StVZO für die Zulassung der Fahrzeuge zwingend.

Im Kaufvertrag mit EasyMile wurde festgelegt, dass der Fahrzeughersteller die beiden Fahrzeuge, welche 2019/2020 im Bereich eines Testfeldes im Frankfurter Stadtgebiet eingesetzt werden sollten, zum Erhalt der Betriebserlaubnis bezugnehmend auf die o. a. Anforderungen angepasst werden mussten. Hinsichtlich der Erfordernisse, des Aufwandes und der Erfahrungen konnte auf ein bestehendes Gutachten der DEKRA inkl. der Überprüfung der funktionalen Sicherheit zurückgegriffen werden. Entsprechende Umbauten wurden bereits im Vorfeld an einem baugleichen Fahrzeug durchgeführt. Bei diesem Pilot ist ein grundlegendes Konzept zum Umbau des Fahrzeuges unter Einhaltung aller Anforderungen und zum späteren Betriebseinsatz dokumentiert. Aufbauend auf den Fahrzeugumbauten sieht das Betriebskonzept u. a. folgende Einschränkungen im Fahrbetrieb vor:

- Mitfahrt von ausschließlich sitzenden Fahrgästen (max. 6 Sitzplätze)
- Ausschluss der Mitnahme von Fahrrädern, Kinderwagen und Rollstühlen

Im Unterschied zum Referenzbetrieb R+V-Versicherung war diese Vorgehensweise durch die 2019 erfolgte Liberalisierung von Vollgutachten und Einzelabnahmen über beliebige in Deutschland zugelassene Prüforganisationen jetzt möglich. Bis 2019 war es dem TÜV vorbehalten, Begutachtungen nach § 21 der StVZO für die westlichen sowie der DEKRA für die östlichen Bundesländer vorzunehmen. Das sogenannte Gutachten gem. § 21 StVZO kommt u. a. zur Anwendung, wenn ein Fahrzeug nicht zu einer Fahrzeugart gehört, die der EU (VO) 2018/858 (M-, N- u. O-Klassen), oder VO (EU) 167/2013 (T-Klassen) oder VO (EU) 168/2013 (L-Klassen) entspricht. Dies kennt man vor allem von Fahrzeugen, welche aus den USA importiert werden und für die keine EG-Übereinstimmungsbescheinigung vorliegt. So gelten im Unterschied zu den USA andere Gesetzesgrundlagen, z. B. in Bezug auf Beleuchtungseinrichtungen, Abgas- und Geräuschverhalten etc. Für die Erteilung der Betriebserlaubnis ist dann ein Umbau des Fahrzeugs oder – im sehr beschränkten Umfang unter Einhalten bestimmter Voraussetzungen – die Erteilung einer Ausnahmegenehmigung nach § 70 StVZO notwendig. Dabei werden Bau- und Betriebsvorschriften der StVZO, die durch Beachtung und Anwendung der Anlagen der StVZO im Wesentlichen den ECE bzw. EU Rilis/VOs entsprechen, im Einzelnen auf ihre Vorschriftsmäßigkeit überprüft.

So wurden von EasyMile an den aus schwedischen und französischen Testfeldern stammenden Gebrauchtfahrzeugen des Typs „EZ10 Gen 2“ für den neuen Fahrzeug-eigner fahma auftragsgemäß kleinere Modifizierungen (u. a. Beleuchtungseinrichtung, Deaktivierung des Kamerasystems) für die Zulassung in Deutschland durchgeführt.

2.4 Strecke

Als erstes Testfeld im Rahmen des Projektes „EASY“ wurde die Stadt Frankfurt am Main ausgewählt. Im Vorfeld wurde unter Federführung von traffiQ das Stadtgebiet systematisch analysiert und es wurden geeignete Strecken für das Testfeld identifiziert. Gemeinsam mit den Projektpartnern und den städtischen Genehmigungsbehörden, wie dem Straßenverkehrsamt, wurden die möglichen Strecken besichtigt und geprüft. Das Mainufer erwies sich als am besten geeignet für das Testfeld und die mit dem Probetrieb verfolgten Ziele. Die Nutzung des nördlichen Mainufers wurde möglich, da der Abschnitt zwischen Untermainbrücke und der Straße „Zum Pfarrturm“ ab August 2019 im Zuge eines Verkehrsversuchs für ein Jahr für den motorisierten Individualverkehr gesperrt wurde. Hierbei musste jedoch die Auflage seitens der Stadt Frankfurt erfüllt werden, dass in allen Fahrtrichtungen jeweils auf der nördlichen Fahrspur – ausgenommen der Begegnungshaltestelle – gefahren wird (siehe Bild 4).

Bei der dort umgesetzten Strecke handelt es sich um einen Rundkurs, der mit zwei Fahrzeugen und einer „zweigleisigen“ Begegnungsstelle an der Haltestelle „Eiserner Steg“ befahren werden kann. Dabei wenden die Fahrzeuge im Westen an der Haltestelle „Untermainbrücke“ aufgrund von ausreichend vorhandener Fahrbahnbreite über drei Fahrspuren per Durchfahren einer Wendeschleife mit Fahrgastnutzung. Die zweite Wende hingegen erfolgt an der Haltestelle „Alte Brücke“ als Rangierfahrt ohne Fahrgastnutzung (im sogenannten Dreispitz oder Wenden in drei Zügen).

Die beiden Fahrzeuge verkehren in diesem Testfeld im Regelbetrieb auf einer virtuellen Schiene im sogenannten Blockbetrieb. Im Bereich der Streckenabschnitte zu den beiden Wendestellen kann richtungsunabhängig immer nur ein Fahrzeug verkehren; die Begegnung der beiden im Regelbetrieb eingesetzten Fahrzeuge kann nur an der vorgesehenen Zentralhaltestelle „Eiserner Steg“ ungefähr in Streckenmitte des Testfeldes stattfinden. Alle Fahrmanöver im Regelbetrieb wurden voll automatisiert unter Nutzung der erlaubten Fahrgeschwindigkeit programmiert. Lediglich an schlecht einsehbaren Stellen und gefährlichen Überwegen oder Kreuzungen wird die Fahrgeschwindigkeit reduziert und vor Einfahrt in diesen Streckenabschnitt die Fahrtfreigabe durch den Operator benötigt. Hierzu ein kurzes Beispiel: An einer schlecht einsehbaren Einmündung, die von Radfahrern und Fußgängern genutzt



Bild 4: Mainufer mit EASY auf der nördlichen Fahrbahn zwischen den Haltestellen „Eiserner Steg“ und Alte Brücke“ (Bild: fahma – Torsten Schmidt)

wird, muss diese durch den Operator „freigegeben“ werden, andernfalls hält das Fahrzeug an. Eine Weiterfahrt ist nur mit „Freigabe“ durch den Operator möglich. Das Blinken sowie eine Signalisierung beim Spurwechsel durch die Klingel wurden ebenfalls aus Sicherheitsgründen einprogrammiert (siehe Bilder 5 und 6).

3. Realisierung des Genehmigungsverfahrens

3.1 Allgemeines

Für die weitere Betrachtung wurden im Genehmigungsverfahren (siehe Bild 7)

- jeweils die Strecke und
- das Fahrzeug einzeln betrachtet

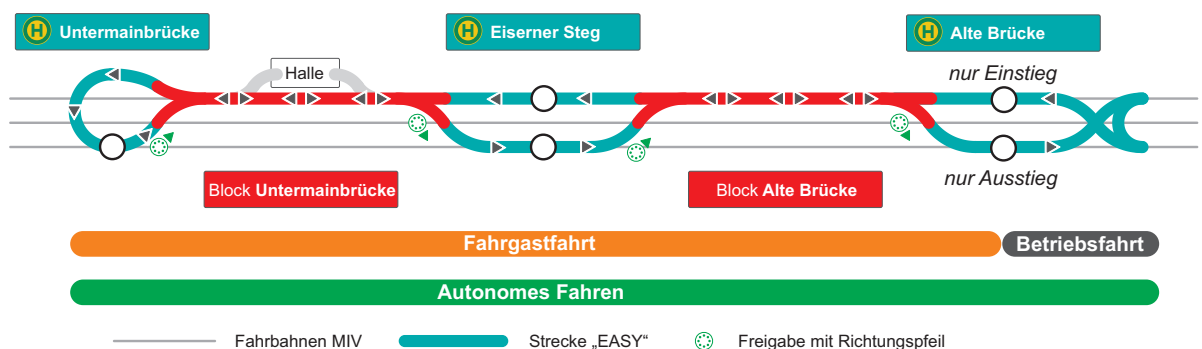


Bild 5: Schematische Darstellung der Strecke mit Haltestellen und Blockabschnitten (Bild: fahma)

- sowie als Gesamtsystem im Zusammenspiel von Fahrzeug und Strecke untersucht.

Am Ende des Verfahrens konnte auf Basis der erfolgten Abstimmung zeitnah eine Zulassung der Fahrzeuge durch die fahma als Fahrzeughalter erfolgen. Ferner hat die VGF als Betreiber eine personenbeförderungsrechtliche Konzession nach § 2 PBefG in Verbindung mit § 42 PBefG beantragt und durch das Regierungspräsidium Darmstadt genehmigt bekommen.

3.2 Gutachten zum Betrieb der Fahrzeuge

Die oben beschriebenen Umbauten allein reichten für eine Betriebserlaubnis noch nicht aus, da auf Grund der Besonderheiten des Fahrzeuges einige Ausnahmegenehmigungen nach § 70 StVZO erforderlich sind. Einige wesentliche Punkte werden nachfolgend genannt:

- Fehlender Sitz für den Fahrzeugführer (Operator), § 35a Abs. 1 StVZO
Das Fahrzeugkonzept ist für einen späteren autonomen Betrieb des Fahrzeuges ausgelegt. Daher verfügt das Fahrzeug über keinen Sitz für den Fahrzeugführer (Operator) nach § 35a Abs. 1 StVZO. Der Operator steht während der Fahrt.
- Elektrisch bedienbare Lenkanlage, § 38 StVZO
Nach § 38 StVZO muss ein Fahrzeug über eine Lenkeinrichtung gelenkt werden können. Der Eingriff in die Lenkung ist im automatisierten Modus nicht möglich, da das Fahrzeug nicht mit einer Lenkanlage mit direkter Übertragungseinrichtung ausgestattet ist. Für den manuellen Betrieb des Fahrzeuges muss dieses zunächst zum Stillstand gebracht werden. Dies kann entweder über ein Abbremsen und Anhalten des Fahrzeuges oder über einen Notstop durch das Fahrzeug selbst bzw. durch einen Eingriff des Operators erfolgen. Nachdem vom autonomen in den manuellen Modus umgeschaltet wurde, lässt sich das Fahrzeug manuell steuern.
- Begrenzungsleuchten, §§ 51 und 54 StVZO
Die in der StVZO geforderten Abmessungen können auf Grundlage der für den Betrieb erforderlichen Sensoren nicht eingehalten werden.



Bild 6: Anfahrt eines Fahrzeuges in Richtung Alte Brücke an die Haltestelle Eiserner Steg nach Freigabe durch den Operator (Bild: fahma – Torsten Schmidt)

- Sichtfeldbeeinträchtigung, § 35b Abs. 2 StVZO
Auf Grund der größeren A-Säule des Fahrzeuges ist das Sichtfeld nach § 35b Abs. 2 StVZO beeinträchtigt. Kompensation ist durch geringfügige Körperneigung oder -drehung des Fahrzeugführers (Operators) möglich.
- Indirekte Sicht, § 56 StVZO
Nach § 56 StVZO müssen Kraftfahrzeuge über Spiegel oder andere Einrichtungen für indirekte Sicht verfügen. Die hier behandelten Fahrzeuge sind nicht mit solchen Ausrüstungen ausgestattet. Eine Kompensation kann jedoch durch geringfügige Körperneigung oder -drehung des Operators erfolgen.
- Für den Fahrbetrieb waren gemäß dem Gutachten weitere Auflagen zu erfüllen, um einen sicheren Betrieb der Fahrzeuge zu gewährleisten. Entsprechende Auflagen wurden später – neben einigen Ergänzungen der Genehmigungsbehörde – in die Ausnahmegenehmigung gemäß § 70 StVZO übernommen. Hierzu zählten u. a.:
 - Die ununterbrochene Einsatzzeit der Operatoren darf nicht mehr als zwei Stunden betragen; ein er-

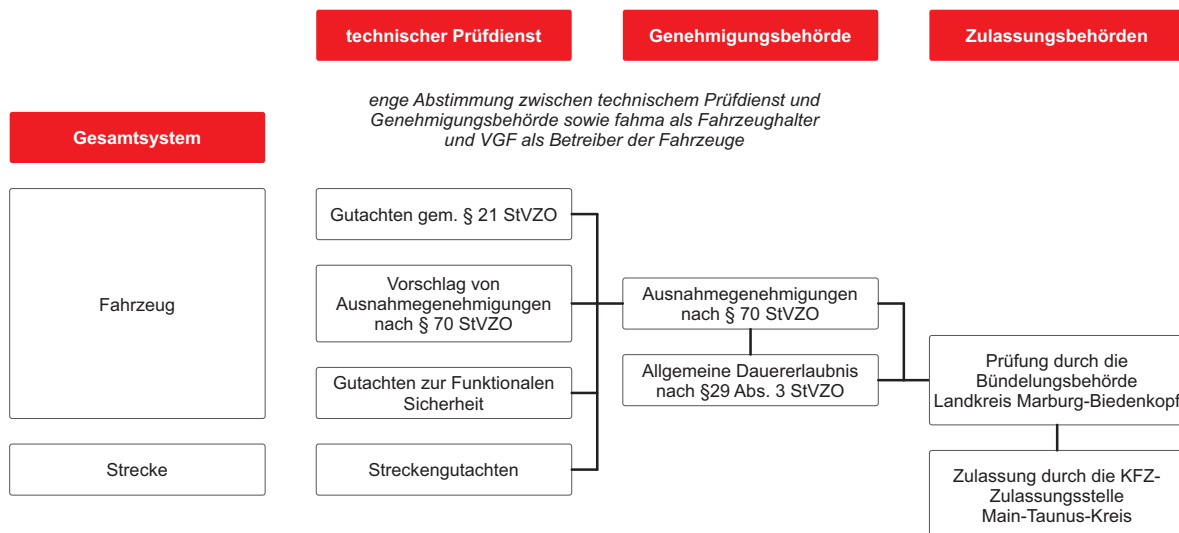


Bild 7: Genehmigungen, Gutachten und Schritte zur Zulassung der Fahrzeuge (Bild: fahma)

neuter Einsatz ist erst nach Ableistung einer mindestens 15-minütigen Pause möglich. Pro Tag darf ein Operator max. acht Stunden im Fahrdienst eingesetzt werden.

- Operatoren müssen mindestens die Führerscheinklasse B besitzen.
- Kontinuierliche Überprüfung der Betriebsbedingungen bei Betriebsbeginn.
- Prüfung des manuellen und autonomen Fahrmodus vor Beginn der ersten Fahrt am Tag.
- Automatisierter Fahrmodus muss durch den Fahrzeugbediener aktiviert, überwacht und beendet werden.
- Die Operatoren tragen Sorge für freies Sichtfeld (keine Sichtfeldeinschränkung durch zu befördernde Personen zulässig).
- Mitführen der Ausnahmegenehmigung.

Im Expertenkreis zwischen fahma, VGF und der Genehmigungsbehörde wurde bezugnehmend auf eine Begutachtung der Fahrzeuge jeder Auflagenpunkt auf Praktikabilität beleuchtet, um eine endgültige Handlungssicherheit zu erzielen. Ausgiebige Testfahrten fanden auf einem extra dafür abgesperrten Bereich auf dem Gelände der Stadtbahnzentralwerkstätten der VGF statt, um nach den Umbauten alle Funktionen und das Gesamtsystem zu prüfen. So wurden die allgemeine Fahr- und Bremsdynamik sowie die Sicherheitssysteme auf Herz und Nieren geprüft. Nach dieser Testung wurde die Zulassung der beiden Fahrzeuge für den Fahrbetrieb unter Nutzung der vorgesehenen Fahrstrecke am Mainufer erteilt.

3.3 Streckengutachten

Neben dem Fahrzeug muss für einen sicheren Betrieb auch die Strecke begutachtet und sichergestellt werden, dass das Fahrzeug über die notwendige Verkehrskompetenz für die Strecke verfügt. Hierbei erfolgt ein Abgleich mit den im Rahmen der funktionalen Sicherheit überprüften Fahrsituationen auf der Strecke.

In gemeinsamen Begehungen der Projektpartner, den zuständigen Genehmigungsbehörden der Stadt Frankfurt am Main und der für die Ausnahmegenehmigung zuständigen Behörde wurden die Streckenführung und das Zusammenspiel mit dem Fahrzeug verbindlich beschrieben. Weiterhin wurden die durch den Umbau der Fahrzeuge geänderten Randbedingungen und die Auswirkungen auf die Ausnahmegenehmigungen abgestimmt. Der Betrieb sollte unter Beachtung und Anwendung aller Vorschriften der BOKraft durchgeführt werden. Alleine die Besonderheiten der in der Hälfte der Strecke platzierten Abstellhalle sowie die Wende an den beiden Endpunkten waren eine Herausforderung. Es wurden abschnittsweise einige Lichtmasten und Poller versetzt. Die Zu- und Auffahrten in der Wendeschleife sowie zur Abstellhalle mussten mit Asphaltkeilen versehen werden, damit die Fahrzeuge gefahrlos die Bordsteinkanten überfahren konnten.

Im Ergebnis wurde festgestellt, dass die Fahrzeuge über die notwendige Verkehrskompetenz der Strecke verfügten und keine weiteren Anpassungen an den Fahrzeugen notwendig sind.

4. Betrieb des Testfeldes

4.1 Einmessung der Strecke

Für die Einmessung der Strecke durch EasyMile und Schulung der Operatoren durch die VGF wurde eine vorläufige Betriebserlaubnis mit Zulassungsbefreiung nach § 47 FZV erteilt. Die Befreiung von der Zulassungspflicht konnte durch die fahma erreicht werden, da es sich um einen abgesperrten Verkehrsraum handelte. Parallel dazu konnte die fahma den Prozess der Zulassung des Fahrzeuges über die Bündelungsbehörde Marburg-Biedenkopf sowie die KFZ-Zulassungsstelle des Main-Taunus-Kreises anstoßen und abschließen.

4.2 Schulung der Operatoren

Im ersten Schritt der Schulungsmaßnahmen wurden Operatoren seitens des Fahrzeugherstellers EasyMile geschult. Diese Operatoren wurden im Anschluss durch die VGF über das betriebliche Konzept ausführlich informiert. Ferner wurde ein Mitarbeiter der VGF als Trainer ausgebildet, welcher weitere Schulungen in Eigenregie der VGF durchführen konnte. Die Eignung der Operatoren wurde bei einer praktischen und theoretischen Fahrprüfung auf dem Testfeld durch den Betriebsleiter nach BOKraft sichergestellt.

4.3 Betriebsdurchführung

Die Betriebsdurchführung beruht

- auf dem von traffiq entwickelten Bedienungskonzept (Strecke, Bedienzeitraum, Haltestellen)
- auf den Festlegungen aus den Gutachten sowie
- den Auflagen und Erfahrungen aus dem Genehmigungsprozess und der Linienkonzession.

Durch erlassene Arbeits- und Dienstanweisungen des Betriebsleiters BOKraft wurde das Betriebskonzept abgerundet. Die zur Betriebsdurchführung erforderlichen Dienstanweisungen umfassten sowohl den grundlegenden Ablauf des Regelbetriebes mit der In- und Außerbetriebnahme der Fahrzeuge als auch eine streckenspezifische Dienstanweisung für die Fahrstrecke am Frankfurter Mainkai.

Vor dem Hintergrund der regelmäßigen Pausenzeiten und zwei sich gleichzeitig auf der Strecke befindlichen Fahrzeugen wurde im Regelbetrieb täglich ein Sieben-Stunden Fahrbetrieb mit drei Operatoren realisiert. Dabei konnten die Operatoren selbstständig die Länge ihrer jeweiligen Einsatzzeiten bis hin zur maximalen Einsatzzeit von zwei Stunden am Stück regeln. Die Tätigkeit der Operatoren beschränkte sich jedoch nicht nur auf den Fahrdienst, sondern auch auf die betriebliche Vorbereitung und Nachbereitung der Fahrzeuge. So sind vor Betriebsbeginn die Fahrzeuge für den autonomen Einsatz vorzubereiten:

- Kontrolle des optischen und technischen Zustandes des Fahrzeuges und des Ladestandes
- Reinigung des Fahrzeuges sowie der Sensorik
- Fahren des Fahrzeuges im manuellen Modus
- Test des autonomen Fahrzeuges auf der Strecke und der Befahrbarkeit der Strecke selbst
- Aber auch während des Betriebes wurden durch die Operatoren regelmäßig Überprüfungen durchgeführt,

um eine sichere Betriebsabwicklung zu gewährleisten. So wurden kontinuierlich die Witterungseinflüsse überprüft und beispielsweise bei Starkregen wurde der Betrieb kurzfristig eingestellt. Der Betriebsleiter BOKraft entschied bei witterungs-, umwelt- und fahrzeugbedingten Extremereignissen über Fortführung des Betriebes mit Auflagen, (vorübergehende) Betriebseinstellung und Wiederaufnahme des Fahrbetriebes. Zum Betriebsende galt es, die Fahrzeuge durch die Operatoren in der Halle wieder abzustellen und für den nächsten Tag vorzubereiten. Dies umfasst eine Abrüstung des Fahrzeuges, die Reinigung und die Batterieladung (Overnight Charge).

- Positionierung des Operators
Der Operator muss stehend im Fahrzeug an einer bestimmten Stelle sein, um den vollen Überblick im und um das Fahrzeug sicherzustellen. Ebenso muss der Operator von dieser Position aus die Notstop- und Steuereinrichtung zu jeder Zeit erreichen und bedienen können.
- Funktionsstörungen
Sollte es während des Betriebes zu einer Störung gekommen sein, waren die Operatoren fast immer in der Lage, das Fahrzeug zumindest im manuellen Modus von der Strecke oder gar zurück in die Halle zu fahren. War dies nicht möglich, so konnten die Fahrzeuge mittels Anhänger mit Winde aufgeladen und in die Werkstatt verbracht werden. Softwarebedingte Störungen konnten oft in kürzester Zeit vor Ort autark oder mithilfe von EasyMile behoben werden.
- Unfall
Durch eine sehr gute Schulung der Operatoren, eine ständige Verbindungsmöglichkeit zur Betriebsleitstelle und zum Betriebsleiter sowie dem Chief Operator hätte im Ernstfall jederzeit reagiert werden können. Das entsprechende Vorgehen wurde schriftlich in der Dienstanweisung fixiert. Erfreulicherweise kam es während der gesamten Betriebszeit zu keinem Unfall.
- Im Notfall haben die Operatoren die Erfahrung gemacht, dass in einer Gefahrensituation die Fahrzeuge schneller reagieren und anhalten, als es der Operator vermag. Lediglich im Falle eines sich nähernden Risikos, welches ein Mensch besser einschätzen kann (z. B. taumelnder Fahrradfahrer in größerem Abstand), greift der Operator vorher ein, um das Risiko vorzeitig zu umgehen (Bild 8).



Bild 8: Kritischer Punkt zwischen dem Römer und der Fußgängerbrücke „Eiserner Steg“: Die rege Nutzung unterschiedlicher Verkehrsteilnehmer wird hier sehr deutlich (Bild: fahma – Torsten Schmidt)

4.4 Anpassungen

Bereits nach einer kurzen Betriebsphase mussten die im Auftrag von traffiQ durch die VGF angelegten Haltestellen nochmals umgebaut werden, da auf der Bank wartende Fahrgäste mit den Beinen in den Sicherheitsbereich der Fahrzeuge ragten. Die effizienteste Lösung war es, die Bänke einfach um 180 Grad zu drehen.

In den ersten Betriebstagen kam es des Öfteren dazu, dass die Fahrzeuge in den gesicherten Block Untermainbrücke (zwischen den Haltestellen Untermainbrücke und Eiserner Steg) trotz eines fahrzeugfreien Abschnittes nicht einfahren wollten. Hintergrund war die softwareseitig vorhandene Sperrung eines im Blockabschnitt abgemeldeten Fahrzeuges zum Betriebsschluss. Auch dieses Fehlerbild konnte in Abstimmung zwischen fahma und VGF durch eine einfache Dienstanweisung schnell behoben werden. So wurden erste bzw. letzte autonome Fahrten ausschließlich an der Haltestelle Eiserner Steg durchgeführt. Die Fahrten von der Halle zur Haltestelle sind in manuellem Modus erfolgt (siehe Bild 9).

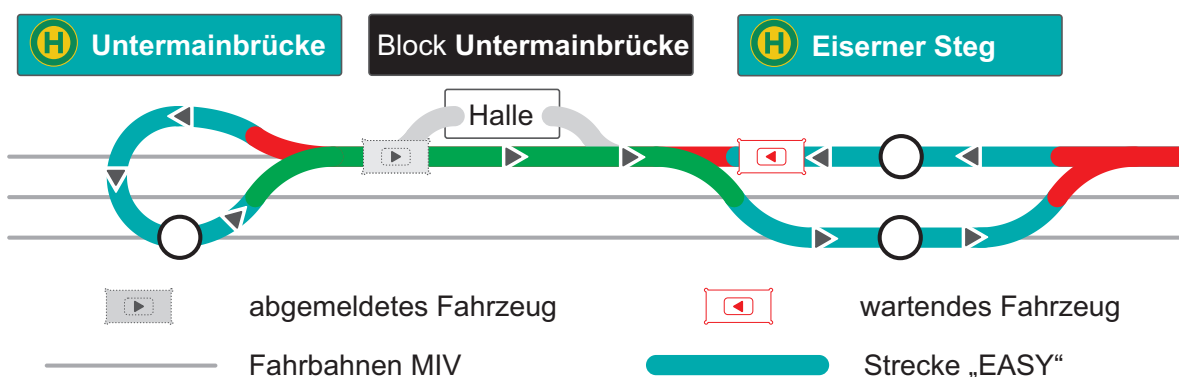


Bild 9: Blockierendes Fahrzeug bei Abmeldung an der Halle (Bild: fahma)

4.5 Die Zahlen

Monat	Durchschnittsgeschwindigkeit in km/h	prozentualer Anteil am autonomen Betrieb in % ³
September 2019 ¹	3,92	88,31
Oktober 2020	6,41	95,06
November 2020	6,86	96,77
Dezember 2020	7,07	99,09
Januar 2020	7,67	99,09
Februar 2020	7,89	99,22
März 2020 ²	7,84	99,36

¹ Betrieb ab 20. September 2019, davor Schulungsfahrten ab 04. September 2020

² Betrieb bis 17. März 2020

³ Im Betrieb wurde jeweils von der ersten bis zur letzten autonomen Fahrt gemessen. Die betrieblichen Fahrten von und zur Fahrzeughalle, welche aus technischen Gründen im manuellen Modus erfolgen mussten, sind in den Daten nicht berücksichtigt.

Tabelle 1: Durchschnittsgeschwindigkeit und prozentualer Anteil autonomer Betrieb

Zunächst lag die Zeit im autonomen Modus bei rd. 88%. Dies ist insofern nicht verwunderlich, da in der Schulung durch die VGF sehr viel Wert darauf gelegt wurde, dass die Operatoren die Fahrzeuge sowohl im autonomen als auch im manuellen Modus beherrschen. Insgesamt zeigte sich eine Steigerung von rd. 95% vom ersten Betriebsmonat bis auf 99% in den Monaten von Dezember 2019 bis März 2020. Hintergrund waren dabei die o. g. durchgeführten Anpassungen. Ferner konnte auch die Durchschnittsgeschwindigkeit von rd. 6 km/h auf bis zu rd. 8 km/h gesteigert werden. In Summe lag die Durchschnittsgeschwindigkeit bei rd. 7 km/h und es wurden insgesamt 6.224 km

gefahren, was etwa der Strecke von Frankfurt nach New York entspricht. Während der sieben Monate wurden insgesamt 25.676 Fahrgäste transportiert. Bei der Kundenbefragung fühlten sich 94% sicher und 86% empfanden die Fahrzeuge als nützliche Ergänzung zum ÖPNV.

5 Ausblick/Fazit

Das erste „Easy“-Testfeld hat gezeigt, dass sich autonome Fahrzeuge in die Struktur des ÖPNV integrieren und auf Basis der gegenwärtigen Gesetzesbestimmungen mit gewissen Einschränkungen realisieren lassen. Für die weitere technische Entwicklung ist jedoch eine Änderung der Gesetze hin zum autonomen Fahren erforderlich. Im Vorfeld der Veröffentlichung eines Gesetzesentwurfs der Bundesregierung wurde vom VDV das Positionspapier „Eckpunkte zum Rechtsrahmen für einen vollautomatisierten und fahrerlosen Level-4-Betrieb im öffentlichen Verkehr“ vorgelegt. Es bleibt abzuwarten, wie sich die Rahmenbedingungen künftig ändern. Zwischenzeitlich sollen in weiteren Testfeldern mehr Erfahrungen für einen fahrerlosen ÖPNV-Betrieb in der Zukunft gesammelt werden.

Mit dem ersten Testfeld am Mainufer in Frankfurt am Main konnte die Basis für weitere Testfelder, unter anderem im Kloster Eberbach (September 2020) und in Bad Soden-Salmünster (November 2020), geschaffen werden. Dadurch kann in der gesamten Region ein umfassendes und vielschichtiges Know-how für autonome Fahrzeuge aufgebaut werden. Ferner wird es interessant sein, die technischen Unterschiede der Fahrzeugkonzepte auf Basis der Erfahrungen aus den verschiedenen Testfeldern zu vergleichen und Anforderungen an zukünftige Fahrzeuggenerationen sowie Rahmenbedingungen zu definieren. ■