

Automatisiertes E-Ticketing für den ÖPNV auf Grundlage von GNSS-Bewegungsdaten

Automated e-ticketing for Public Transport Based on GNSS Movement Data

Pascal Block¹, Nils Friedrich¹, Felix Maurer¹

¹Technische Hochschule Mittelhessen, Friedberg · joerg.pfister@mnd.thm.de

Zusammenfassung: Die Arbeit beschreibt, wie E-Tickets für den ÖPNV auf Basis von GNSS-Bewegungsdaten in einer Smartphone-App erworben werden können. Passagiere müssen lediglich bei Beginn und Ende ihrer Fahrt einen Button drücken, um das Ticket zu erwerben, während die App alle weiteren Schritte automatisch erledigt. Erste Testfahrten haben gezeigt, dass die aufgezeichneten Daten ausreichend genau sind, um faire Ticketpreise zu berechnen. Die Anwendung speichert nur die relevantesten Daten auf einem Server, während die Daten, die zwischen der Start- und Endhaltestelle aufgezeichnet werden, lokal auf den Geräten der Nutzer*innen verbleiben, um dem Grundsatz der Datenminimierung der Datenschutz-Grundverordnung zu entsprechen.

Schlüsselwörter: E-Ticketing, ÖPNV, GNSS, Bewegungsdaten, faire Tarifierung, Flutter

Abstract: *The paper describes how e-tickets for public transport can be purchased in a smartphone app based on GNSS movement data. Passengers only have to press a button at the beginning and end of their journey to purchase the ticket, while the app takes care of all further steps automatically. Initial test rides have shown that the recorded data is sufficiently accurate to calculate fair ticket prices. The app stores only the most relevant data on a server, while the data recorded between the start and end stops remains locally on users' devices to comply with the data minimisation principle of the General Data Protection Regulation.*

Keywords: *e-ticketing, public transport, GNSS, movement data, fair ticketing, flutter*

1 Einleitung

1.1 Motivation

Die vorübergehende Einführung des *9-Euro-Tickets*, in Deutschland, war ein voller Erfolg, auch weil insgesamt 52 Millionen Tickets verkauft wurden (Bundesministerium für Digitales und Verkehr, 2022; VDV, 2023). Etwa zehn Millionen weitere Tickets könnten dazugerechnet werden, die von Personen aufgrund eines bestehenden ÖPNV-Abonnements für die gesamten drei Monate automatisch abonnierten wurden (Krämer et al., 2022; VDV, 2023)

Die Einführung des Nachfolge-Tickets, das *49-Euro-Ticket*, bzw. *Deutschlandticket*, wurde beschlossen und wird ab dem ersten Mai nutzbar sein.

Auf Basis einer bundesweiten Marktforschung im Zusammenhang mit der Nutzung des *9-Euro-Tickets* konnten positive Effekte auf den Klimawandel abgeleitet werden. Hierbei ist die Rede von einer Einsparung von durchschnittlich 0,6 Mio. t CO₂ je Monat für den motorisierten Verkehr im gesamten Bundesgebiet (VDV, 2023). Andere Berechnungen gehen eher von durchschnittlich 0,3 bis 0,5 Mio. t CO₂ je Monat aus (Krämer et al., 2022).

Trotz verschiedener Annahmen kann von einer Einsparung von CO₂ ausgegangen werden, auch deshalb gilt das *9-Euro-Ticket* als Erfolg. Ein weiterer nennenswerter Grund für den Erfolg des Tickets, war die einfache Nutzung für alle Fahrten im Regionalverkehr (VDV, 2023). Den Prozess des Ticketkaufs zu vereinfachen könnte auch abgesehen vom *49-Euro-Ticket*, weiterhin viele Möglichkeiten bieten, die Zahl der Nutzer*innen des ÖPNV zu erhöhen. Vor allem da es viele Personen gibt, die keinen oder nur einen schlechten Zugang zum ÖPNV haben, wird sich der Kauf, eines *49-Euro-Tickets*, nicht für alle Personen gleichermaßen lohnen (Hille & Gather, 2022).

Aus der vorher beschriebenen Problematik und dem weiterhin bestehenden Bedarf an Einzelbuchungen von ÖPNV-Tickets, ergab sich die Fragestellung, wie ein elektronisches Ticket möglichst einfach erworben werden kann.

1.2 Zielsetzung

Das Ziel dieser Arbeit ist es, eine Smartphone-App zu entwickeln, die den Nutzer*innen möglichst viele Schritte im Prozess des Ticketkaufs abnimmt. Aufgrund von zeitlichen (01.11.2022 – 27.01.2023) und räumlichen Einschränkungen der Autoren, soll die App zunächst nur für das Verkehrsnetz des Rhein-Main-Verkehrsverbund (RMV) bereitgestellt werden. Die Nutzer*innen sollen für das Starten und Beenden ihrer Fahrt lediglich einen Button betätigen müssen, um eine einfache Handhabung zu gewährleisten und mögliche Zugangshürden zu reduzieren.

Mithilfe von Bewegungsdaten des *Global Navigation Satellite Systems (GNSS)* soll die gefahrene Strecke der Nutzer*innen ermittelt werden. Die Daten sollen zu Beginn und zum Ende der Fahrt mit frei zugänglichen Daten des RMV verglichen werden, um beispielsweise zu prüfen, ob sich die Nutzer*innen an einem Bahnhof oder einer Haltestelle befinden bzw. an welcher sie sich befinden.

Die Tarifierung soll vom System automatisch durchgeführt werden, dabei soll eine möglichst faire Berechnung erfolgen, sodass für die Nutzer*innen immer der bestmögliche Tarif berechnet wird. Beispielsweise sollen die Nutzer*innen monatlich maximal 49 Euro bezahlen, damit sie am Ende nicht mehr zahlen als für ein mögliches *49-Euro-Ticket*. Je nach Intensität der Nutzung soll sich der Tarif zudem anpassen.

Damit eine faire Tarifierung erfolgen kann, sollen neben der tatsächlich gefahrenen Strecke, auch die Luftlinie berücksichtigt werden. Die Hinzunahme der Luftlinie soll dafür sorgen, dass Personen mit einer schlechten ÖPNV-Anbindung nicht zusätzlich durch einen hohen Preis bestraft werden. Die Evaluation am Ende soll zeigen, ob die Ticketerstellung in der beschriebenen Art und Weise und die Zuordnung der Bahnhöfe, bzw. Haltestellen funktioniert.

Zur Veranschaulichung, wie der Prozess des Ticketkaufs vereinfacht werden kann, wurden entsprechende *Business Process Modelling and Notation (BPMN)-Diagramme*^{1 2} erstellt, die den herkömmlichen Prozess in der RMV-APP und den neugestalteten Prozess zeigen. In den *BPMN-Diagrammen* sind Aufgaben der Nutzer*innen mit einem Personen-Icon und Aufgaben des Systems mit einem Zahnrad-Icon markiert.

¹ BPMN-Diagramm 1, herkömmlicher Prozess, <https://bit.ly/3ZmweHn>, Retrieved Mar 29, 2023.

² BPMN-Diagramm 2, neugestalteter Prozess, <https://bit.ly/3FYzmSQ>, Retrieved Mar 29, 2023.

2 Stand der Technik

2.1 Erwerb eines ÖPNV-Tickets

Aktuell gibt es mehrere Möglichkeiten ein Ticket zu erwerben. Es gibt Automaten in Bahnhöfen, Reisezentren der Deutschen Bahn oder Vertriebsstellen des Verkehrsverbundes, an denen vor der Fahrt das Ticket gekauft werden kann. Auch bei einem Busfahrer kann ein Ticket gekauft werden. Weitere Möglichkeiten sind die Benutzung der Website oder der App des jeweiligen Verkehrsverbundes, um ein Ticket zu erwerben (Deutsche Bahn, 2023; RMV, 2022). Alle genannten Methoden erfordern eine gewisse Zeit, da die Tickets im Voraus erworben werden und diverse Informationen gegeben sein müssen. Gerade in der Eile könnte die Zeit für den Ticketkauf dadurch schnell knapp werden. Momentan gibt es mehrere Möglichkeiten ein Ticket zu erwerben.

Eine weitere Lösung ist die App *FAIRTIQ*. Diese bietet die Möglichkeit mit Bus, Bahn, Tram und Schiff zu fahren. Sie funktioniert so, dass man sie startet, wenn man in das jeweilige Transportmittel einsteigen will und den generierten QR-Code vorzeigt. Danach werden die Kosten der Fahrt angezeigt. Sie ist in der Schweiz und Lichtenstein verwendbar, sowie in Teilen von Deutschland und Österreich (Fairtiq, 2023).

2.2 Bestpreistarifizierung

Wenn man nicht regelmäßig Bahn fährt, muss überlegt und berechnet werden, ob es sich lohnt ein Einzelticket oder beispielsweise ein Monatsticket zu erwerben. Ähnlich ist es auch bei der App *FAIRTIQ*, diese unterstützt leider keine Spartickets oder vergleichbare Angebote. Sie bietet je nach Tarifpartner den Luftlinienpreis an, dies bedeutet nur die Entfernung zwischen Start und Ziel wird gemessen und bepreist (Fairtiq, 2023). Wenn die berechneten Fahrtpreise an einem Tag den Preis des Tagestickets überschreiten, fallen keine weiteren Kosten an. Dies kann in manchen Regionen in Deutschland auch ein Wochen- (nur Kalenderwochen) oder Monatsdeckel (Lörrach und Freiburg im Breisgau) sein (Fairtiq, 2023).

Des Weiteren versucht der RMV zurzeit in einem Testprogramm, genannt *RMVsmart*, mit 30.000 Teilnehmern, das Tarifsysteem im Verkehrsraum des RMV zu reformieren, indem Personen nur noch die tatsächlich gefahrenen Strecken bezahlen. Der Preis setzt sich hierbei zusammen aus einem einheitlichen Grundpreis pro Fahrt (1,60 Euro) und einem Kilometer Tarif für Fahrten mit der Regional-, S-, und U-Bahn (0,10 Euro bis 0,20 Euro). Für Fahrten mit dem Bus oder der Straßenbahn gibt es hingegen Festpreise, die zum Grundpreis addiert werden. Innerorts zwischen 0,30 und 0,60 Euro und Überland zwischen 1,10 Euro und 2,30 Euro. Nutzer*innen können durch frequentiertes Fahren oder einer Zahlung von 10,- Euro im Monat zusätzliche Rabatte für ihre Fahrten erhalten (RMV, 2022).

2.3 Daten des RMV

Der RMV bietet auf der Webseite den Zugang zur *RMV-Auskunft-API* an (RMV, 2022). Diese darf nach der Registrierung kostenfrei für bis zu 600 Einzelabfragen pro Stunde und insgesamt 5.000 Einzelabfragen pro Tag verwendet werden. Die Begrenzung auf das RMV-Gebiet erfolgt aus zwei Gründen. Zum einen können durch die API die Bahnhöfe den *GNSS*-Daten zugeordnet werden. Zum anderen sind die Autoren in diesem Gebiet vertreten, wodurch eine häufige Testung gewährleistet werden kann.

3 Umsetzung

3.1 Funktionalitäten

Die Grundfunktionalität der entwickelten App besteht darin, die Standortdaten des Endgeräts abzufragen und zu speichern. Es werden dabei allerdings nur neue bzw. keine unveränderten Standorte gespeichert, um Ressourcen der Datenbank und des Endgeräts zu schonen.

Die Abfrage wurde mit der Funktion *getPositionStream* des Flutter Plug-ins *geolocator* implementiert. Der Stream bleibt auch im Hintergrund aktiv, damit die Nutzer*innen während der Fahrt weitere Apps auf ihrem Smartphone nutzen können.

Die Nutzer*innen müssen sich registrieren, um Fahrten ihrem Profil zuzuordnen. Die Daten werden lokal in einer *SQLite*-Datenbank und online im *Cloud Firestore* gespeichert, damit die Schreibzugriffe auf den *Cloud Firestore* minimiert werden. Dies entspricht dem Grundsatz Datenminimierung der Datenschutz-Grundverordnung (Bundesministerium der Justiz, 2023). Der *Cloud Firestore* wird nur beim Beenden der Fahrt aufgerufen, um den Ticketdatensatz um die Endhaltestelle, Koordinaten und Ankunftszeitpunkt zu erweitern und die Tarifierung des Einzeltickets anzustoßen. Die Preise orientieren sich dabei an der Preisgestaltung des Testprogramms *RMVsmart* (RMV, 2022).

Während der Fahrt findet ein Abgleich der aufgezeichneten Koordinaten mit der RMV-API statt, die anhand dieser Koordinaten Infrastrukturdaten zu den passierten RMV-Haltestellen liefert. Dadurch können die exakten Start- und Endhaltestellen ermittelt werden. Es wird dauerhaft geprüft, dass beispielsweise nicht die Koordinate [0° N, 0° E] erfasst wird und so die aufgezeichnete Strecke verfälscht.

Die Anwendung hat keinen Fokus auf der Zahlungsabwicklung, sondern konzentriert sich derzeit auf die Erfassung von Streckendaten und die daraus resultierende Tarifierung, weshalb keine Bezahlungsfunktion für Fahrten implementiert wurde. Weiterhin ist zu erwähnen, dass aufgrund der zeitlichen Beschränkung des Projekts nicht alle möglichen Testszenerien bzw. Problemstellungen abgedeckt werden konnten. Aus diesem Grund wurde die Anwendung bisher lediglich für kooperative Testnutzer*innen umgesetzt.

3.2 Layout

Die Anwendung wurde mithilfe des Open-Source-Designsystem *Material Design* von *Google* umgesetzt, damit sich Nutzer*innen nicht an neue Bedienelemente gewöhnen müssen und so die Nutzungshürden möglichst niedrig sind.

Außerdem wurden die Bedienelemente möglichst minimalistisch gestaltet, um nur essenzielle Nutzungsoptionen und Informationen bereitzustellen. Grundlage für diese Design-Entscheidungen sind unter anderem das *Hicksche Gesetz*, die *10 Usability Heuristiken nach Nielsen* und die Standards und Normen der *DIN EN ISO 9241-11 Ergonomie der Mensch-System-Interaktion* des *DIN Deutsches Institut für Normung e. V.* (DIN Deutsches Institut für Normung e. V., 2018; Hick, 1952; Nielsen, 2020).

Der Login-Bereich enthält übliche Funktionen zum Anmelden, Registrieren und Passwort zurücksetzen. Nach der Anmeldung erscheint die Ticket-Ansicht mit Start- und Beenden-Buttons. Vor dem Starten einer Fahrt ist der Beenden-Button deaktiviert. Nach dem Start erscheinen oberhalb der Buttons die entsprechenden Ticketinformationen und darunter ein

individueller QR-Code, der die Ticket-ID beinhaltet. Dieser könnte durch Zugbegleiter*innen ausgelesen werden. Beim Beenden der Fahrt werden Ticketinformationen und QR-Code ausgeblendet (s. Abb. 1). Über die Bottom-Navigation können die Ansichten der Landkarte und die Historien-Ansicht angesteuert werden. Ist ein Ticket aktiv, kann auf der Karte der bisher zurückgelegte Weg nachverfolgt werden. Genutzt wird hier eine Karte von *OpenStreetMap*. Sie zentriert sich anhand des aktuellen Aufenthaltsorts der Nutzer*innen und bietet die Möglichkeit, sich über Haltestellen und weitere ÖPNV-Infrastrukturen in der Nähe zu informieren (s. Abb. 2). In der Historien-Ansicht werden alle Tickets der bisher getätigten Fahrten als Kacheln angezeigt. Eine Kachel enthält die essenziellen Ticket-Informationen, den kalkulierten Preis und den entsprechenden QR-Code (s. Abb. 3). Mit einem Klick auf eine Kachel öffnet sich eine Karten-Ansicht, mit der jeweils zurückgelegten Strecke.

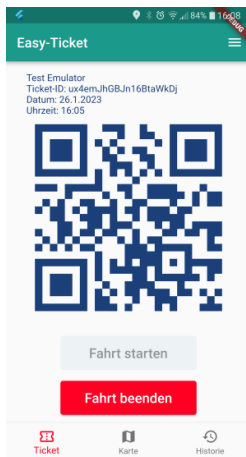


Abb. 1:
Ticketscreen

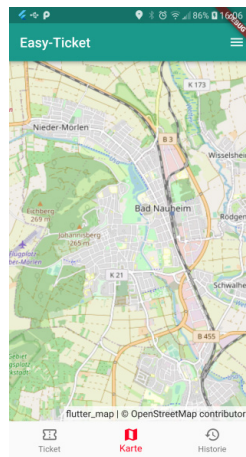


Abb. 2:
Kartenscreen ohne
aktive Fahrt



Abb. 3:
Ticket-Historie

3.3 Testkonzept

Das Testkonzept besteht daraus verschiedene Fahrten aufzunehmen und die Standorte zu speichern. Das Ziel ist es, mindestens 30 Fahrten auf der Hauptstrecke (Gießen – Friedberg – Frankfurt) aufzunehmen. Es ist anzumerken, dass nicht immer die komplette Strecke gefahren wird, sondern auch Teilstrecken, die im genannten Gebiet liegen. Weiterhin werden auch Fahrten erprobt, die über das eigentliche Gebiet hinausgehen. Angedacht ist als zusätzliche Strecke, die Bahnverbindung Gießen – Marburg.

Die während der Fahrt aufgenommenen Daten sind folgende: *Longitude* (Grad normalisiert von -180 bis 180), *Latitude* (Grad normalisiert von -90 bis 90), *Altitude*, Geschwindigkeit (m/s), Uhrzeit (s) und Adresse (String). Diese werden alle 2 Sekunden neu abgefragt und abgespeichert, allerdings nur, wenn sich der Standort der Nutzer*innen verändert hat. Dies bedeutet maximal 30 Datenpunkte pro Minute. Weitere Daten, die erhoben werden mittels der RMV-API und den vorher genannten Daten sind die nächsten Haltestellen beim Starten und Beenden der Fahrt.

Nach den ersten Testfahrten wurden Funktionen entwickelt, die im ersten Schritt mithilfe der RMV-API die angefahrenen Bahnhöfe zuordnet. Im zweiten Schritt wurden die nötigen Bahnverbindungen zwischen dem Start- und Zielpunkt herausgefiltert.

3.4 Tarifierung

Mit Aussicht auf ein *Deutschlandticket* und der enormen Wichtigkeit des ÖPNV in Deutschland und anderen Ländern aufgrund der gesetzten Klimaziele, sollte auch die Bezahlung der Fahrten für die Nutzer*innen fair, transparent und einfach sein, damit sie sich keine Gedanken machen müssen, ob sich ein Monatsticket überhaupt lohnt (Kogel et al., 2021).

Bei der Tarifierung der Tickets wurde versucht eine möglichst nachvollziehbare Preisgestaltung zu erstellen, sodass Nutzer*innen den Preis sogar grob abschätzen können, bevor sie ihre Fahrt antreten, bzw. diese beenden. Zur Abdeckung der Betriebskosten der Bahn- oder Busfahrt und dem Betrieb der App, wurde ein Grundpreis als Mindestpreis von 1,60 Euro festgelegt. Der Grundpreis wurde hierbei vom Testprojekt *RMVsmart* übernommen, um einen realistischen Preis zu wählen.

Als Ansatz für eine faire Tarifierung wurden feste Staffelpreise berechnet. Diese ändern sich nach 5, 10, 30, 50 oder 100 km. Die Kilometer, die für die Berechnung verwendet werden, entsprechen dem Mittelwert der wie folgt berechnet wird:

$$\bar{x} = \frac{\text{gefahrere Distanz (km)} + \text{Luftlinie (km)}}{2}$$

Für die Berechnung der gefahrenen Kilometer wird die jeweilige Distanz (D) zwischen zwei aufeinanderfolgenden Standpunkten, für alle gespeicherten Standpunkte, ermittelt und anschließend aufsummiert.

$$\sum_{i=1}^n D_i = D_1 + D_2 + \dots + D_n$$

Die Luftlinie in Kilometern wird mit den Parametern Start- und Endpunkt berechnet. Zur Berechnung der Staffelpreise wurde folgende Formel entwickelt:

$$\sum \text{maximaler Kilometerwert der Staffel} * \text{Kilometerpreis} + \text{Grundpreis}$$

Der aktuell verwendete Kilometerpreis beträgt 0,10 Euro und orientiert sich am niedrigsten Tarif des *RMVsmart* Pilotversuchs (RMV, 2023b).

Ein Bezahlvorgang wurde nicht implementiert, allerdings wird die Summe der Ticketpreise eines Monats errechnet und bei 49 Euro gedeckelt, sodass Nutzer*innen der Anwendung nicht benachteiligt werden, wenn sie kein *49-Euro-Ticket* gekauft haben.

Weiterhin könnten in Zukunft auch Tages- oder Wochentickets mitberücksichtigt werden, wenn Nutzer*innen nur einen Tag oder nur in einer Woche eines Monats den ÖPNV nutzen.

4 Evaluation

Ziel der Evaluation ist die Überprüfung der gemessenen Standpunkte anhand der tatsächlichen ÖPNV-Linie. Da die Evaluationsergebnisse während des kompletten Entwicklungsprozesses gesammelt wurden und der Speicherprozess der Standpunkte während der Entwick-

lung optimiert wurde, verbesserte sich die Genauigkeit der Ergebnisse im Verlauf. Dies lag vor allem daran, dass der Speicherprozess zuvor länger dauerte als die Ermittlung neuer Standpunkte, sodass einzelne Standpunkte während des Speicherns verloren gingen. Wegen der Änderung konnten mehr eindeutige Standpunkte für eine Fahrt gesammelt und das Abfrageintervall für die Ortsbestimmung von einer Sekunde auf zwei Sekunden erhöht werden.

Durch die verbesserte Genauigkeit gab es weniger Fehler bei den API-Abfragen. Die häufigsten Fehler hierbei waren falsche Haltestellen als Ergebnis der Abfrage. Durch die Optimierung konnten diese Fehler verringert werden, wodurch sich Fahrten auch genauer für den Nutzer zurückverfolgen lassen.

Nachfolgend werden die Ergebnisse von zehn der durchgeführten 30 Fahrten vorgestellt, die auf der Strecke Friedberg Bahnhof – Bad Nauheim Bahnhof³ ermittelt wurden. Zur Visualisierung der Daten wurde der Dienst *My Maps* von *Google* verwendet. Auf Abbildung 4 ist eine Einzelfahrt vom 25.01.2023 zu sehen, die die Bahnlinie der Strecke zeigt. Abbildung 6 dagegen zeigt, für den gesamten Zeitraum, alle zehn Messungen auf der Strecke. Eine interaktive Ansicht der Fahrten kann zudem im Browser aufgerufen werden⁴. Außerdem ist in Tabelle 1 eine Übersicht über die durchgeführten Messungen vorhanden, die auf Abbildung 6 visualisiert wurden.

Über die Anzahl der Messpunkte lässt sich nachvollziehen, dass der Speicherprozess im Entwicklungsverlauf deutlich optimiert werden konnte. Von der ersten Messung am 07.12.2022 wurden zwar 732 Messungen durchgeführt, davon waren allerdings 684 Duplikate und nur 48 Unikate vorhanden. Die letzte durchgeführte Messung am 26.01.2023 ergab für die Strecke 54 Messpunkte, davon 15 Duplikate und 39 Unikate. Die größten Abweichungen zur Strecke wurden bei 10 Duplikaten der ersten Fahrt am 07.12.2022 ermittelt, sie betragen ca. 615 m. Im Anschluss an die Optimierung verbesserte sich die Abweichung auf maximal 570 m. Bei zwei weiteren Fahrten betrug die Abweichung nur ca. 40 m und 90 m, was zeigt, dass größere Abweichungen nicht immer auftreten. Die großen Abweichungen könnten mit Filterfunktionen, die davor und dahinter liegende Messpunkte mit in Betracht ziehen, geglättet/entfernt werden. Eine mögliche Abfrage wäre, ob sich der Zug überhaupt so schnell zwischen den Punkten bewegen kann, ist dies nicht der Fall wird der Punkt in weiteren Berechnungen ausgelassen.

Die aufgezeichneten Messergebnisse müssen jedoch in Bezug auf ihre Wiederholbarkeit eingeordnet werden. Die Genauigkeit der Standortaufzeichnung ist von den verwendeten Smartphones der Anwendungsnutzer*innen und den darin verbauten *GNSS*-Chips abhängig. Weiterhin ist eine stabile *GNSS*- und Internetverbindung notwendig, ohne die weder die Daten der API verwendet werden können noch die Ticketerstellung funktioniert. Zudem könnten durch ungenaue *GNSS*-Positionen fehlerhafte Preise ermittelt werden, was im schlimmsten Fall zu einer unfairen Tarifierung für die Nutzer*innen führen könnte.

Grundsätzlich ist unter optimalen Bedingungen (z. B. Fahrten auf freier Fläche) eine Messgenauigkeit von bis zu 3 bis 5 Metern möglich. Bei Fahrten durch Gebiete mit z. B. hoher Gebäudehöhe kann es dagegen zu größeren Abweichungen bei den aufgezeichneten Ergeb-

³ Bahnstrecke Friedberg – Bad Nauheim, Google My Maps, <http://bit.ly/3Kd23Nf>, Retrieved Apr 6, 2023.

⁴ Bahnfahrten Friedberg – Bad Nauheim, Zeitraum 07.12.2022 bis 26.01.2023, Google My Maps, <http://bit.ly/3G4JTfp>, Retrieved Jan 26, 2023.

nissen kommen. Außerdem kann die Anzahl der über dem durchquerten Gebiet sichtbaren Satelliten die Genauigkeit der Messungen beeinflussen. Unter Berücksichtigung, dass die Anwendung vor allem innerhalb eines Zugs genutzt wird, ist anzumerken, dass die Wärmebeschichtung der Fensterscheiben des Zugs sich störend auf den Empfang der GNSS-Signale auswirken kann. Daraus leitet sich ab, dass die Sitzplatzwahl der Nutzer*innen innerhalb des Zugs einen Einfluss auf die Genauigkeit der Daten haben kann.

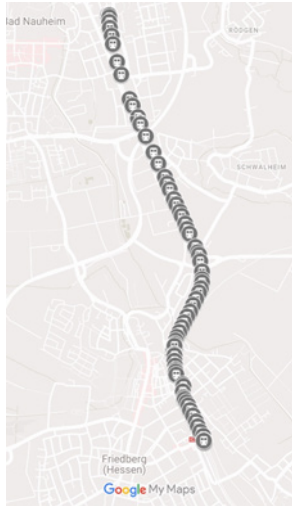


Abb. 4:
Bahnfahrt, Strecke Friedberg
Bahnhof – Bad Nauheim
Bahnhof, 83 Messpunkte
am 25.01.2023

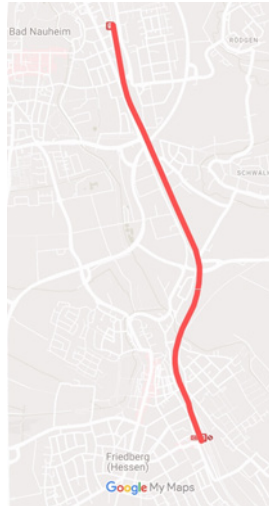


Abb. 5:
Bahnstrecke Friedberg
Bahnhof – Bad Nauheim
Bahnhof

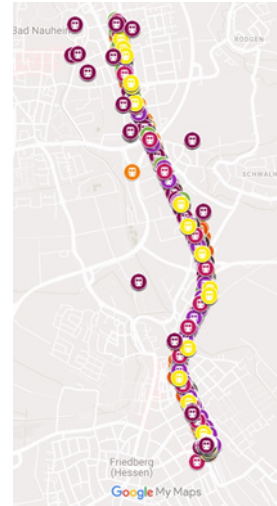


Abb. 6:
10 Bahnfahrten, Strecke
Fried-berg Bahnhof – Bad
Nauheim Bahnhof, 2.703
Messpunkte

Die Preisberechnung für die gezeigte Strecke (Friedberg – Bad Nauheim) ergab 2,10 Euro, im Vergleich beträgt der aktuelle Preis des RMV für die Strecke 3,15 Euro (RMV, 2023a).

Tabelle 1: 10 Bahnfahrten, Strecke Friedberg Bahnhof (FB) – Bad Nauheim Bahnhof (BN), Zeitraum 07.12.2022 bis 26.01.2023

Messdatum	Start	Ziel	Anzahl der Messpunkte	Duplikate	Unikate
07.12.2022	FB	BN	732	684	48
14.12.2022	BN	FB	213	193	20
14.12.2022	FB	BN	384	354	30
16.12.2022	BN	FB	286	257	28
16.12.2022	FB	BN	204	183	21
11.01.2023	BN	FB	159	111	48
11.01.2023	FB	BN	134	64	70
24.01.2023	FB	BN	49	17	32
25.01.2023	BN	FB	83	30	48
26.01.2023	BN	FB	54	15	39

5 Zusammenfassung

Die Verwendung des ÖPNV möglichst einfach und mit so wenig Hürden wie möglich zu gestalten, wird durch die Thematik des Klimaschutzes immer wichtiger (Kogel et al., 2021). Um möglichst viele Menschen zu erreichen, sollte die Preisgestaltung attraktiver werden. Ein erster Schritt in die richtige Richtung ist mit dem *9-Euro-Ticket* geschehen. Das Nachfolgeticket, das *49-Euro-Ticket*, könnte auch dafür sorgen, dass der ÖPNV frequenter verwendet wird. Neben einem attraktiven Preis ist auch eine einfache Handhabung wichtig.

Durch die Benutzung der Anwendung lässt sich sagen, dass es möglich ist durch einfache GNSS-Datenabfragen den Start und das Ziel einer Fahrt zu bestimmen und eine faire Tarifierung zu berechnen. Allerdings wurde die Funktionalität der App infolge des begrenzten Entwicklungs- und Testzeitraums nur auf einer Strecke bzw. auf Teilstrecken im RMV-Gebiet getestet. Aufgrund der Genauigkeit der erfassten Daten ist jedoch anzunehmen, dass die bisherigen Ergebnisse auf andere Strecken des RMV übertragbar sind. Diese Methode der Datenerfassung wird auch schon in anderen E-Ticket-Anwendungen wie *FAIRTIQ* verwendet und scheint eine beliebte Lösung zu sein (Fairtiq, 2023).

Anders als bei existierenden E-Ticket-Anwendungen, wird für die Tarifierung nicht nur die Luftlinie zur Berechnung des Ticketpreises herangezogen (Fairtiq, 2023). Der Preis eines Tickets berechnet sich aus dem Staffelpreis der zurückgelegten Kilometer multipliziert mit deren Anzahl. Zusätzlich wird eine feste Servicepauschale berechnet. Die Berechnungsweise der zurückgelegten Kilometer sowie die Festlegung von rabattierten Tarifzonen soll vor allem Vielfahrer zugutekommen. Zudem kann ein Preis von 49 Euro pro Monat nicht überschritten werden, da in diesem Fall der Preis für das *49-Euro-Ticket* berechnet wird.

Literatur

- Bundesministerium der Justiz (2023). *Datenschutzgrundverordnung*. Retrieved Jan 25, 2023 from https://www.bmj.de/DE/Themen/FokusThemen/DSGVO/DSVGO_node.html.
- Bundesministerium für Digitales und Verkehr (Ed.) (2022). *BMDV – Das 9-Euro-Ticket war ein Erfolg*. Retrieved Oct 29, 2022, from <https://bmdv.bund.de/SharedDocs/DE/Artikel/K/9-euro-ticket-beschlossen.html>.
- Deutsche Bahn (2023). *DB Verkaufsstellenfinder: So kommen Sie an Ihre Bahn-Fahrkarte*. Retr. Jan 22, 2023, from https://www.bahn.de/service/buchung/wege_zur_fahrkarte.
- DIN Deutsches Institut für Normung e. V. (2018). *DIN EN ISO 9241-11 Ergonomie der Mensch-System-Interaktion – Teil 11: Gebrauchstauglichkeit: Begriffe und Konzepte (ISO 9241-11:2018); Deutsche Fassung EN ISO 9241-11:2018*. Berlin: Beuth.
- Fairtiq (2023). „*Das Luftlinienmodell ist die Zukunftslösung*“. Retrieved Jan 22, 2023, from <https://fairtiq.com/de/blog/b2p-das-luftlinienmodell-ist-die-zukunftsloesung>.
- Hick, W. E. (1952). On the Rate of Gain of Information. *Quarterly Journal of Experimental Psychology*, 4(1), 11–26. Retrieved from <https://doi.org/10.1080/17470215208416600>.
- Hille, C. & Gather, M. (2022). „*Das 9-Euro-Ticket hat mir gezeigt, dass man nicht alleine sein muss. – Mit dem 9-Euro-Ticket zu mehr sozialer Teilhabe?* Retr. Jan 21, 2023, from https://www.fh-erfurt.de/fileadmin/Dokumente/IVR/IVR_Schriftenreihe/Band_29_final/IVR_Band_29_9EuroTicket.pdf.

- Kogel, B., Pfeifer, A., & Jäckel, S. (2021). *Auswirkungen der Covid-19-Pandemie auf den ÖPNV*. Retrieved from <https://d-nb.info/125520222x/34>.
- Krämer, A., Wilger, G., & Bongaerts, R. (2022). Das 9-Euro-Ticket: Erfahrungen, Wirkungsmechanismen und Nachfolgeangebot. *Wirtschaftsdienst*, 102(11), 873–879. Retrieved from <https://doi.org/10.1007/s10273-022-3313-2>.
- Nielsen, J. (Nielsen Norman Group, Ed.) (2020, 15. November). *10 Usability Heuristics for User Interface Design*. Retrieved Oct 29, 2022, from <https://www.nngroup.com/articles/ten-usability-heuristics/>.
- RMV (2022). *Offene Daten des RMV. RMV Open Data*, Rhein-Main-Verkehrsverbund GmbH. Retrieved Dec 2, 2022, from <https://opendata.rmv.de/site/start.html>.
- RMV (2023a). *RMV.DE – Tickets & Shop*. Rhein-Main-Verkehrsverbund GmbH. Retrieved Jan 23, 2023, from <https://www.rmv.de/c/de/fahrkarten>.
- RMV (2023b). *RMVsmart – Nur zahlen, was man fährt*, Rhein-Main-Verkehrsverbund GmbH. Retrieved Jan 23, 2023, from <https://sites.rmv.de/de/rmvsmart>.
- VDV (2023). *Bilanz 9-Euro-Ticket | VDV – Die Verkehrsunternehmen*. Retrieved Jan 21, 2023, from <https://www.vdv.de/bilanz-9-euro-ticket.aspx>.