

# Neues Zeitalter der Fahrgastzählung – traffiQ testet Videozählung auf Basis von KI

Kai Dietl, M.A., Laura Moller, M.Sc.

Die städtische Nahverkehrsgesellschaft Frankfurt am Main, traffiQ, ist für die Organisation des lokalen ÖPNV-Angebotes zuständig. Die Basis der kundenfreundlichen und effizienten Angebotsplanung bilden Fahrgastdaten, deren Erhebung sich in den vergangenen Jahren zunehmend weg von manuellen Erhebungsmethoden hin zu technisch automatisierten Zählsystemen entwickelt hat. Durch die fortschreitende Digitalisierung ergeben sich auch im Bereich der Fahrgastzählung Neuerungen und Chancen, deren Evaluation im Zentrum eines „Fahrgastdatenprojektes“ steht, das traffiQ Anfang 2022 anlaufen ließ.

## Datenbasis zum ÖPNV-Nutzungsverhalten erweitern

Um den öffentlichen Nahverkehr attraktiver zu machen und die Nutzungszahlen zu steigern, baut traffiQ das ÖPNV-Angebot permanent aus und strebt nach möglichst effizienter Gestaltung des Gesamtsystems mit passgenauem Einsatz finanzieller und personeller Ressourcen. Dazu bedarf es einer deutlichen qualitativen und quantitativen Verbesserung der Datenbasis zum ÖPNV-Nutzungsverhalten, um bestehende Wissens- und Informationslücken zu schließen. Das aktuell in Frankfurt am Main eingesetzte, automatische Fahrgastzählsystem (AFZS), bestehend aus Kamerasensoren, die in den Deckenbereichen der Fahrzeugtüren angebracht sind, verfügt über eine hohe Datengenauigkeit und könnte über die Gesamtflotte (U-Bahn, Straßenbahn und Bus) ausgerollt werden. Allerdings würde die Umsetzung viele Jahre in Anspruch nehmen und enorme Zusatzkosten verursachen, während damit nur das Problem der Datenquantität gelöst würde. Tiefere Daten zum Nutzungsverhalten der Fahrgäste wie Quelle-Ziel-Beziehungen, Umstiege oder das Bewegungsverhalten in den Fahrzeugen könnten damit auf dem aktuellen Stand der Technik nicht erhoben werden. Genau an diesem Punkt

setzt das „Fahrgastdatenprojekt“ von traffiQ an: Gesucht wird eine Zähltechnologie, die folgende Kriterien erfüllt:

- flächendeckende Ausstattung der Gesamtflotte (U-Bahn, Straßenbahn, Bus) möglich,
- Kostenreduktion gegenüber dem Bestandssystem,
- hohe Zählgenauigkeit ein- und aussteigender Fahrgäste (ähnlich Bestandssystem) [1],
- Gewinnung neuer Daten (zum Beispiel Quelle-Ziel-Beziehung, Umstiege, Bewegungsverhalten).

## Alternative Fahrgastzählssysteme

Auf Basis der definierten Anforderungen wurde eine umfassende Marktanalyse zu alternativen Fahrgastzählssystemen durchgeführt und diese in verschiedene Systemkategorien [2] unterteilt (Abb. 1).

Die meisten der untersuchten Systeme erfüllen sowohl aktuell als auch absehbar nicht die im Vorfeld definierten Ansprüche an die Datengüte und -verfügbarkeit.

Sogenannte externe Systeme, die unabhängig vom Fahrzeugsystem und dessen Infrastruktur auf Basis von Signalen externer technischer Geräte, wie Smartphones, Mobilitätsdaten erfassen, sind in der Lage, aufwandsarm häufig große Datenmengen zu erzeugen, verfügen jedoch nicht über die für die Angebotsplanung notwendige Datengüte. Mobilfunkdaten beispielsweise lassen zwar grundsätzlich Rückschlüsse auf die Gesamtmobilität einer Bevölkerung zu, Rückschlüsse auf Linienwege, Fahrten und Verkehrsmittel sind jedoch nur eingeschränkt möglich.

Integrierte Onboard-Systeme ermitteln auf Basis von Informationen aus der Fahrzeuginfrastruktur Fahrgastdaten. Dabei variiert die Datengüte zwischen den Systemen je nach Granularität des Erfassungsdesigns zum Teil stark. Während Temperaturmessungen beispielsweise nur grobe Rückschlüsse auf den Besetzungsgrad (Aussage „leer“, „mittel“, „voll“) eines Fahrzeuges zulassen, zeigen E-Ticketing-Systeme und videobasierte Erfassungssysteme vor dem Hintergrund der definierten Anforderungen das höchste Nutzungspotenzial, da sie fahrgastgenau Daten erheben. Die Er-

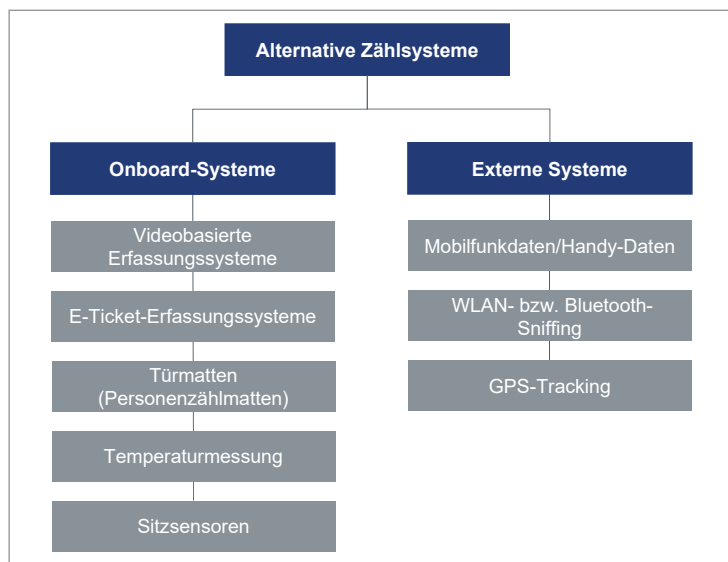


Abb. 1: Übersicht alternativer Fahrgastzähl-systeme nach System-Kategorien. Grafik: traffiQ, eigene Darstellung nach TCAC (2022)

fassung von Fahrgästen mittels digitaler E-Ticket-Erfassungssysteme birgt großes Potenzial zur Erzeugung von Fahrgastdaten durch das Abschöpfen von Daten zur ÖPNV-Nutzung aus den Tarifsystemen. Durch technische Lösungen wie Check-in/Check-out-Systeme können Informationen wie Fahrtrelationen und Nutzungshäufigkeiten erfasst werden. Die Verfügbarkeit dieser Daten kann im Fall von traffiQ jedoch durch die tarifliche und vertriebliche Einbindung in den regionalen Verkehrsverbund nicht direkt beeinflusst werden. Das Verfahren schied daher aus und es wurden im nächsten Schritt Systeme zur Videoanalyse von Aufnahmen durch Überwachungskameras (videobasierte Erfassungssysteme) eingehend betrachtet, da die software- und nicht sensorbasierte Arbeitsweise der Systeme das größte Entwicklungspotenzial verspricht.

### Neuronale Netze kategorisieren Objekte in Videostreams

Videobasierte Erfassungssysteme punkten zunächst damit, dass sie auf bereits bestehender Standard-Fahrzeuginfrastruktur aufbauen, indem sie die Videostreams der im Fahrzeug verbauten Videosicherheitskameras nutzen. Diese werden bislang nur im Bedarfsfall zu polizeilichen Ermittlungszwecken ausgewertet. Sie leuchten den gesamten Fahrzeuginnenraum inklusive der Türbereiche aus. So wird es auch möglich, Bewegungsmuster im gesamten Fahrzeuginnenraum zu analysieren, woraus sich Datenmaterial ergibt, das über die klassische Ein- und Aussteigerzählung hinausgeht.



#### Zum Autor

**Kai Dietl, M.A. (29)** ist seit 2020 bei traffiQ tätig. Nach seinem Einstieg im Bereich „Planung Nahverkehr“ arbeitet er seit 2021 als Projektleiter im Bereich „Forschung und Innovation“. Neben Projekten zu innovativen ÖPNV-Angeboten wie On-Demand-Verkehren und autonomen Shuttles gestaltet er die strategische Ausrichtung der Fahrgastzählung sowie der Marktforschung mit. In dieser Funktion leitet er das Projekt „Fahrgastdaten“.



#### Zur Autorin

**Laura Moller, M.Sc. (29)** ist seit 2021 bei traffiQ tätig. Nach ihrem Einstieg als Trainee bei traffiQ arbeitet sie seit 2022 als Projektleiterin im Bereich „Forschung und Innovation“. Dort sind ihre Schwerpunkte multimodale Mobilitätsprojekte wie P+R und Mobilitätsstationen sowie Mobilitätsdaten.

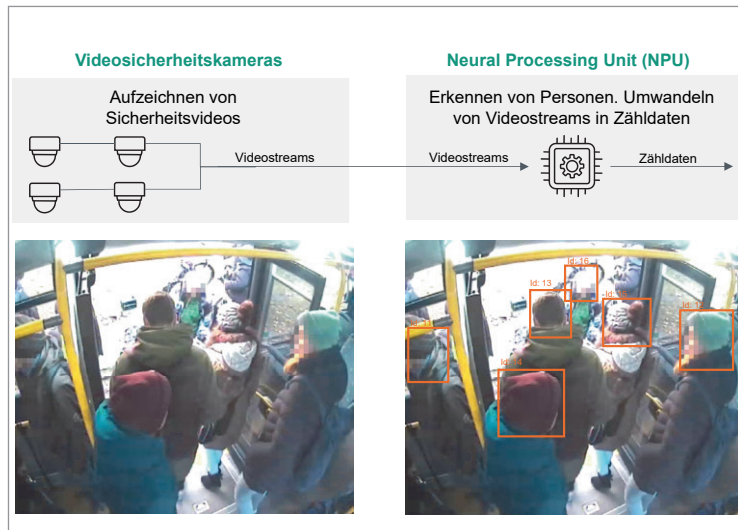


Abb. 2: Systemkomponenten der KI-Videoanalyse-Technik. Fotos: traffiQ, eigene Darstellung

ANZEIGE



TRAFFIC.  
SOFTWARE.  
SOLUTIONS.

GVS Gesellschaft für Verkehrsberatung und Systemplanung mbH

www.gvs-fan.de

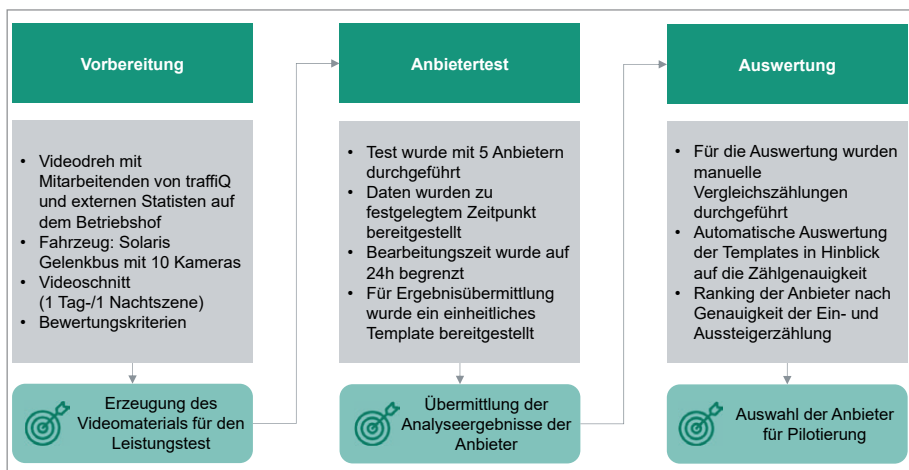


Abb. 3: Ablauf des Leistungstests.

Grafik: traffiQ, eigene Darstellung

Die Auswertung der Videos erfolgt durch eine Software, die auf Basis neuronaler Netze die Personenerkennung und Lokalisation, die sogenannte Detektion, vornimmt und so aus Bilddaten Zählzahlen erzeugt. Die Rechenprozesse der Software finden im Fahrzeug auf einer NPU (Neural Processing Unit) statt (Abb. 2).

zur Auswertung zur Verfügung. Dadurch erfolgte die Auswertung nicht direkt auf dem Fahrzeug, sondern dezentral bei den verschiedenen Anbietern. Auf Basis dieser Ergebnisse wurde die Entscheidung über den Test der Technologie im Fahrgastbetrieb gefällt.

### Testkonzept

Die Vorbereitung des Leistungstests erfolgte in enger Abstimmung mit den kooperierenden Unternehmen, um Rahmenbedingungen zu schaffen, die keinen Teilnehmer strukturell benachteiligen würden. Hierfür wurden kurze, circa zweiminütige Probevideos aus einem Testfahrzeug bereitgestellt, um die Videoqualität (Auflösung/Framerate) sowie die Kameraposition beurteilen zu können und bei Bedarf Anpassungen am System vorzunehmen. Die Struktur der Auswertung wurde durch einheitliche Auswertungs-Templates vorgegeben, die ebenfalls im Vorfeld zur Verfügung gestellt wurden. Die Ein- und Aussteigerzählung war hierbei das einzige Muss-

Kriterium, da es sich um das einzige mögliche Vergleichskriterium zum bestehenden AFZS handelte. Weitere Auswertungen wie das Zählen von Objekten und die Fahrgastverteilung im Fahrzeug waren optional.

Die Durchführung des Tests war standardisiert und für alle Anbieter gleich. Insgesamt wurden den Anbietern Videostreams von allen zehn Überwachungskameras im Fahrzeug zur Verfügung gestellt. Das Testvideo wurde aus Datenschutzgründen in Tag- und Nachtszenarien mit eigens dafür eingeladenen Statisten auf einem Betriebshof inszeniert, um keine Fahrgastrechte einzuschränken. Durch das gewählte Testkonzept konnte die Auswertung bei verschiedenen Lichtverhältnissen getestet werden, um möglicherweise auftretende signifikante Unterschiede frühzeitig zu erkennen. Um den Schwierigkeitsgrad zu erhöhen und gleichzeitig mögliche Herausforderungen im Live-Betrieb zu simulieren, wurden Requisiten wie Kinderwagen, Rollstuhl und Fahrrad einbezogen. Außerdem wurden die Teilnehmenden angehalten, Mützen, Sonnenbrillen und Schutzmasken zu tragen, um Fähigkeiten und Grenzen der Systeme zu testen.

### Leistungstest verschiedener Softwareanbieter

Vor einer Pilotierung der Technologie im Fahrgastbetrieb wurde die Funktionalität der Algorithmen von brancheninternen und -fremden Unternehmen im Rahmen eines ersten Leistungstests in Bezug auf relevante Use-Cases getestet. Dabei wurden sowohl Unternehmen aus Deutschland als auch aus dem (außer-europäischen) Ausland berücksichtigt. Um den Aufwand für die Verkehrsunternehmen und den Eingriff in den Betrieb möglichst gering zu halten, stellte traffiQ den Anbietern ein unter definierten Rahmenbedingungen inszeniertes Testvideo

Der Zeitraum für die Auswertung der Videos wurde auf 24 Stunden begrenzt, damit einerseits genug Zeit für die Einstellung der Software vorhanden war (zum Beispiel Einzeichnen von Zähllinien), andererseits aber kein Training der Softwaresysteme vorgenommen werden konnte.

Die Auswertung der Testergebnisse erfolgte auf Basis einer von traffiQ durchgeführten manuellen Vergleichszählung der Testvideos. Die aufbereiteten Ergebnisse wurden in Follow-up-Terminen mit den jeweiligen Anbietern besprochen und Feedback über Herausforderungen bei der Auswertung eingeholt.

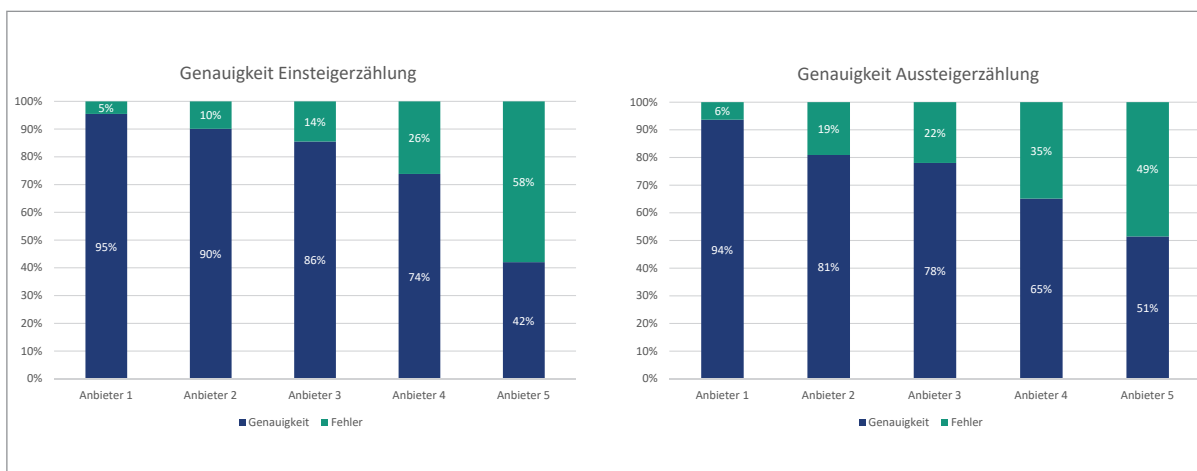


Abb. 4: Genauigkeit der Ergebnisse des Leistungstests: Einsteiger- und Aussteigerzählung. Grafik: traffiQ, eigene Darstellung



## Ergebnisse

Für den Vergleich der Testergebnisse wurden die Genauigkeit der Ein- und Aussteigerzählung sowie die durchschnittlichen Abweichungen von der manuellen Vergleichszählung berücksichtigt. Die durchschnittliche Genauigkeit variierte von Anbieter zu Anbieter zum Teil stark, kam jedoch in den Spitzen auf 95 Prozent. Die Zählungen der brancheninternen Anbieter waren im Schnitt genauer als die der branchenfremden. Bei der Mehrheit der Anbieter zeigte sich, dass die Einsteiger mit einer höheren Genauigkeit gezählt wurden als die Aussteiger. Dies lässt auf einen systematischen Fehler schließen, der unter anderem auf Kamerapositionen zurückgeführt werden kann. Beim Einstieg werden Personen frühzeitig bereits außerhalb des Fahrzeugs erfasst und bewegen sich mit dem Gesicht nach vorne auf die Kamera zu, wodurch die Software länger Zeit hat die Personen zu erfassen. Beim Ausstieg betreten die Fahrgäste den Kamerabereich durch die geringe Deckenhöhe der Fahrzeuge unvermittelt. Die Software hat so weniger Zeit die Personen zu erfassen, was die höhere durchschnittliche Fehlerquote begünstigen könnte. Zudem waren die Abweichungen im Nachtszenario geringfügig höher als im Tagszenario. Aufgrund der geringen Stichprobe lassen sich im Leistungstest jedoch keine zuverlässigen und abschließenden Aussagen zur Validität der Daten treffen.

Zwei von fünf Anbietern waren außerdem in der Lage Heatmaps des Fahrzeuginnenraumes zu erzeugen und so die Verweildauer der Fahrgäste in den Fahrzeugbereichen abzubilden. Weitere Auswertungen wie das Erkennen von Gegenständen (zum Beispiel Fahrräder, Rollstühle oder Koffer), die Auswertung von Quelle-Ziel-Beziehungen durch die Ermittlung von Ein- und Ausstiegshaltestelle oder das Einordnen in Altersgruppen wurden von den Anbietern nicht erbracht. Bei den meisten Anbietern sind diese Auswertungen noch nicht Teil des Portfolios und befinden sich noch in der Entwicklung. Bei den anderen Anbietern wurde die kurze Bearbeitungszeit für diese aufwendigen Konfigurationen als Grund genannt. Erkenntnisse hierzu sind somit erst im nächsten Projektschritt möglich.

## Fazit und nächste Schritte

Der Leistungstest lieferte mit geringem Aufwand wertvolle Einblicke in die Breite des Leistungsspektrums von Videoanalyse-Anbietern. Dabei lag der Fokus auf der Genauigkeit der Ein- und Aussteigerzählung.

Auf Basis der Ergebnisse des Leistungstests (Genauigkeit der Ein- und Aussteigerzählung) werden aktuell die technischen Voraussetzungen für den Einbau der Analysesysteme der besten zwei Anbieter in Testbussen des Frankfurter ÖPNV geschaffen.

Das umfasst unter anderem die Umrüstung der Fahrzeuge von analoger Kamertechnik auf IP-Kameras. Außerdem sollen die Fahrzeuge zur Vergleichbarkeit der Systeme neben der Analysesoftware auch über klassische AFZ-Systeme verfügen. Parallel dazu werden der Leistungsumfang der Anbieter und das gewählte Pilotierungskonzept datenschutzrechtlich abgesichert. Der Fokus der Pilotierung soll neben der Ein- und Aussteigerzählung auf die Erschließung neuer Datenkategorien wie Heatmaps des Fahrzeuginnenraums und der Auswertung von Quelle-Ziel-Beziehungen gelegt werden. Die Herausforderung wird hierbei die Bewertung der Datengüte darstellen, da es bislang keine belastbaren Vergleichswerte und Auswertungsmöglichkeiten gibt.

Sobald die technischen und datenschutzrechtlichen Voraussetzungen geschaffen sind, sollen die Systeme für sechs Monate im Fahrgastbetrieb Daten erheben und so zuverlässigere Aussagen über die Konkurrenzfähigkeit der KI-Videoanalyse-Systeme liefern.

## Literatur/Anmerkungen

- [1] Die Daten sollen nicht für die Einnahmenaufteilung im Verkehrsverbund genutzt werden und müssen deshalb nicht die geltenden Anforderungen an die Zählgenauigkeit erfüllen.
- [2] Transport and Communication Assessment Center, TCAC GmbH (2022): Projektbericht Erhebung von Fahrgastdaten im Frankfurter ÖPNV, AP 1.1 Marktanalyse, S. 3.

## Zusammenfassung/Summary

### Neues Zeitalter der Fahrgastzählung – traffiQ testet Videozählung auf Basis von KI

Um die Potenziale der fortschreitenden Digitalisierung für die Fahrgastzählung zu untersuchen, werden bei der städtischen Nahverkehrsgesellschaft Frankfurt am Main, traffiQ, aktuell Software-Technologien zur Analyse von Videostreams der Videosicherheitskameras in Bussen durch KI-Algorithmen erprobt. Nach einer vorgelagerten Marktanalyse wird in einem zweistufigen Verfahren die Pilotierung der Technologie im Live-Betrieb des Frankfurter ÖPNV vorbereitet. Dabei wurde zunächst ein Leistungstest mit verschiedenen Anbietern auf Basis eines inszenierten Testvideos durchgeführt, um die Leistungsfähigkeit der Algorithmen zu testen. Die Ergebnisse waren sehr divers, zeigten jedoch das Potenzial und die zum Teil hohe Zählgenauigkeit der KI-Algorithmen. Der Leistungstest lieferte mit geringem Aufwand wertvolle Einblicke in die Breite des Leistungsspektrums von Videoanalyse-Software-Anbietern. Auf Basis der Ergebnisse des Leistungstests werden aktuell die technischen und datenschutzrechtlichen Voraussetzungen für den Einbau der Analysesysteme in Testbussen des ÖPNV geschaffen. Sind diese gegeben, sollen die Systeme für mindestens sechs Monate im Fahrgastbetrieb Daten erheben und so zuverlässigere Aussagen über die Konkurrenzfähigkeit der KI-Videoanalyse-Systeme liefern.

### New era of passenger counting – traffiQ tests video counting based on AI

In order to investigate the potential of digitalisation for passenger counting, traffiQ (Local Public Transport Organisation of Frankfurt am Main) is currently testing software technologies for analysing video streams from video security on buses using AI algorithms. Following an upstream market analysis, the technology will be piloted in a two-stage process, operating live on the public transport network of Frankfurt. The market analysis involved a performance test with various providers on the basis of a staged test video in order to test the performance of the algorithms. The results were very diverse, but demonstrated the potential and the high counting accuracy of some of the AI algorithms. The performance test provided valuable insights into the breadth of the performance spectrum of video analysis software providers. Based on the results of the performance test, the technical and data protection requirements for the installation of the analysis systems in public transport test buses have to be met. As soon as this has been achieved, the systems will collect data for at least six months in passenger service and provide more reliable information about the competitiveness of the AI video analysis software systems.