

# Braucht eine moderne Fahrgastzählung KI?

Erste Erfahrungen, Nutzenbewertung und Potenziale im Umgang mit KI-basierten Zählalgorithmen in der Personen- und Objektzählung

Dipl.-Phys. Jan Sablatnig, Dipl.-Math. Michael Siebert, Ramtin Dastgheib Shirazi, M.Sc.; Berlin

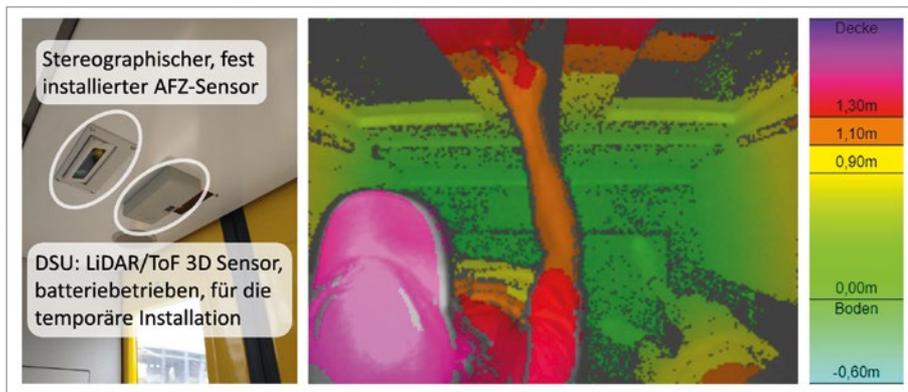


Abb. 1: Links: Zwei AFZ-Sensoren über einer Tür in einem Schienenfahrzeug, Mitte: Bildmaterial der DSU (Depth Sensing Unit, Interautomation). Rechts: Farbskala für das mittige Bild. Mithilfe von 3D lassen sich insbesondere Erwachsene von Kindern anhand einer Höhenschranke von beispielsweise 1,20 m unterscheiden. Daher ist die Höhenkarte auch für die manuelle Zählung essentiell, gerade bei besonders hohen Anforderungen wie 99 Prozent Genauigkeit nach VDV 457 v2.1.

Abbildungen: Interautomation Deutschland GmbH

**K**ünstliche Intelligenz (KI) hat sich in den letzten Jahren rasant weiterentwickelt und insbesondere im Bereich der Bild- und Videoverarbeitung große Fortschritte erzielt. Dabei kommen so genannte Deep-Neuronal-Networks zum Einsatz, bei denen biologische Gehirne, die neuronalen Netze, als Inspiration dienen.

Automatische Fahrgastzählung (AFZ) ist das maschinelle Zählen von ein- und aussteigenden Personen (und anderen Objekten, wie zum Beispiel Fahrrädern) in öffentlichen Verkehrsmitteln wie Bussen und Zügen mithilfe von Sensoren, typischerweise 3D Kameras (Abb. 1). Hierbei spielt die Genauigkeit eine besonders große Rolle, denn die Zahlen werden für die Planung im öffentlichen Verkehr verwendet und entscheiden auch über die Einnahmeaufteilung bei Ticket- und Subventionseinnahmen, die in Milliardenhöhe liegen.

Die Firma Interautomation Deutschland GmbH hat in langjährigen Forschungs-

projekten erhebliche Ressourcen in die Erforschung von Deep-Learning-Methoden in der AFZ aufgewandt und den Neural Automated Passenger Counter (NAPC) entwickelt. Dieser basiert auf modernsten Deep-Learning-Methoden, welche die Möglichkeiten und Qualität in der AFZ auf ein noch nie da gewesenes Niveau heben.

Zum einen besitzen KI-Algorithmen wie der NAPC eine hervorragende Skalierbarkeit. So lässt sich beispielsweise der NAPC auf älterer, rechenschwacher Hardware im Fahrzeug per Softwareupdate installieren und erzielt dabei eine wesentlich höhere Zählgenauigkeit als das ursprüngliche AFZ-System. Im Vergleich hierzu werden gängige AFZ-Systeme jeweils an die spezifischen Anforderungen eines Sensors angepasst und sind im Grunde genommen statisch: Eine Steigerung der Zählgenauigkeit ist typischerweise mit einem Upgrade der gesamten Hardware verbunden, das heißt dem AFZ-Bordrechner, den Sensoren an allen Türen und der Verkabelung.

Zum anderen sind KIs wie der NAPC selbstlernend (Abb. 2), das heißt, sie können sich mit Videomaterial und manuellen Zählungen selbstständig erschließen, was ein- und aussteigende Personen, Kinder, Fahrräder et cetera sind. Klingt wie Science-Fiction, ist aber bereits mit heutigen Technologien realisierbar. Das macht die Adaption an vielfältige Einbausituationen deutlich einfacher. Im Vergleich dazu werden klassische, manuell entwickelte Zählalgorithmen typischerweise nur für eine bestimmte, ideale Einbausituation konzipiert und getestet. Muss aber der AFZ-Sensor aus technischen Gründen deutlich höher angebracht werden oder verfügt das Fahrzeug über Treppenstufen, ist ein aufwendiges, manuelles Engineering notwendig. Darüber hinaus erhöht sich das Risiko erheblich, dass die versprochene Zählgenauigkeit nicht erreicht wird oder erst nach zahlreichen Abnahmerunden, was zu einer erheblichen Kostensteigerung auf allen Seiten führt.

## KI-basierte Zählalgorithmen brauchen Daten

Um moderne KIs herstellen zu können, sind sehr große Datenmengen erforderlich. Grundsätzlich gilt das für die klassische Entwicklung auch, da in jedem Fall der Algorithmus auf einem Datensatz getestet werden muss. Neuronale Netze erfordern aber bereits zur Herstellung Daten für das so genannte Training: Der NAPC beispielsweise startet ohne jegliche Kenntnis (Tabula Rasa), durchläuft eine iterative Optimierung unter Einsatz von Trainingsdaten (Videos plus manuelle Zählungen), bis er in der Lage ist, Zählungen zu erzeugen und eine hohe Zählgenauigkeit zu erreichen.

Das bedeutet aber auch: Der Erfolg einer KI steht und fällt mit der Fähigkeit, effizient Daten akquirieren zu können. Es beginnt mit der Aufzeichnung, die auf mehreren

Fahrzeugen stattfindet und für die ein Bordrechner mit entsprechender Speicherkapazität und Bahn- beziehungsweise Buszulassung notwendig ist. Danach erfolgt die manuelle Zählung, die in ihrer personalintensiven Natur ebenfalls hohe Kosten verursacht. Hier hat die Firma Interautomation Hardware-Lösungen für Schienenfahrzeuge und Busse entwickelt sowie die integrierte Vergleichszählsoftware VisualCount (Abb. 3), die typischerweise drei- bis vierfach schneller als ein Videoplayer mit Excel ist und mit der bereits rund eine halbe Million Türöffnungsphasen gezählt wurden.

### Mehr Qualität durch mehr Rechenpower

Neben der gesteigerten Datenmenge ist das Training selbst sehr rechenintensiv, profitiert aber stark von hochparallelen GPU-Chips (Graphics Processing Units). So reduziert sich die Gesamtrechenzeit von Wochen auf Tage, wodurch Neuronale Netze überhaupt erst praxistauglich wurden. Auch die Weiterentwicklung einer KI unterscheidet sich stark von klassischen Verfahren, da sie eine Black-Box ist: Nach welchen Kriterien sie entscheidet, ist in den seltensten Fällen nachvollziehbar. Die Stellschrauben sind die neuronale Architektur und die Daten. Auch die Reihenfolge, in der die KI die Daten im Training gesehen hat, und mit welchen Zufallszahlen sie begann, spielen eine Rolle und machen jede KI einzigartig. Es reicht also nicht, ein einzelnes neuronales Netz herzustellen. Vielmehr ist es zur Qualitätssicherung notwendig, dutzende KIs herzustellen, um unterschiedliche Architekturen zuverlässig miteinander vergleichen oder schlicht den geeignetsten Kandidaten auswählen zu können.



#### Zum Autor

**Dipl.-Phys. Jan Sablatnig** ist seit 2017 als wissenschaftlicher Mitarbeiter in der Forschungsabteilung der Interautomation Deutschland GmbH tätig. Nach seinem Abschluss in Physik betreute er schon seit 2012 an der Technischen Universität Berlin wissenschaftliche Projekte zum Thema Fahrgastzählung. Neben diesen theoretischen Ansätzen kümmert er sich außerdem um hardwarenahe Programmierung, Portierung und Optimierung auf Bestandssystemen.



#### Zum Autor

**Dipl.-Math. Michael Siebert** ist seit August 2013 in der Firma Interautomation tätig und leitet die Forschungsabteilung. Er betreut universitäre Kooperationen, hat mehrere wissenschaftliche Publikationen mit verfasst und so unter anderem die statistischen Grundlagen für die VDV 457 v2.1 gelegt. Siebert hat Visual Count und die Depth Sensing Unit (DSU) entwickelt und dafür sowie für die Deep Learning Unit (DLU) erfolgreich Fördermittel angeworben. Die in seiner Abschlussarbeit entwickelten Optimierungsverfahren kommen aktuell bei der künstlichen Intelligenz des NeuralAutomatic Passenger Counters (NAPC) zum Einsatz.



#### Zum Autor

**Ramtin Dastgheib Shirazi, M.Sc.**, ist seit August 2021 als Data Scientist und KI-Experte in der Forschungsabteilung der Interautomation Deutschland GmbH tätig. Sein Studium der Physik an der Technischen Universität Berlin hat er im März 2021 mit einem Master erfolgreich abgeschlossen. Bereits während der Abschlussarbeit beschäftigte er sich mit der Objektzählung mit Hilfe von KI in Kooperation mit der Interautomation.

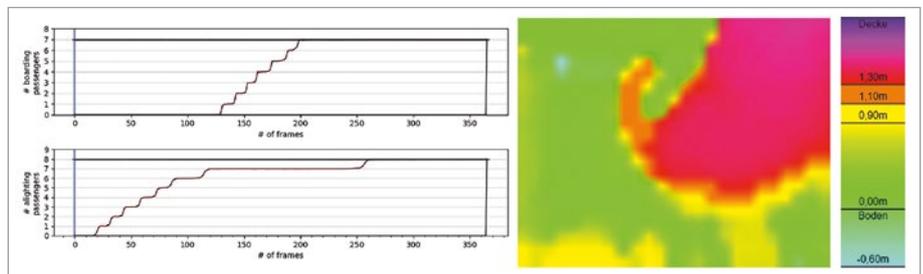


Abb. 2: Die Detektionskurve des Neural APC. Die berechneten Werte sind fast ganzzahlig und der Übergang sehr scharf. Das spricht dafür, dass sich die KI selbst erschlossen hat, was ein- und aussteigende Personen sind.

ANZEIGE

## BORDRECHNER FÜR KI-ANWENDUNGEN

### Deep Learning Unit (DLU 110)

- ▶ Leistungsfähiger Grafikchip (Passive Kühlung)
- ▶ Zahlreiche Schnittstellen
- ▶ Echtzeit-Videoanalyse für Zählung, Erkennung von Objekten oder Verschmutzungen und weitere Anwendungen direkt im Fahrzeug



- ✓ EN 50155
- ✓ EN 45545-2
- ✓ EN 50121-3-2
- ✓ EMV 06
- ✓ IEC 61373

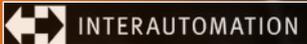





Abb. 3: VisualCount – eine spezialisierte Software der Firma Interautomation, um ein- und aussteigende Fahrgäste sowie Objekte effizient zu zählen.



Abb. 4: DLU-110 – Hochleistungs-Bordrechner mit NVIDIA GPU und Bahnzulassung, ideal für KI-Anwendungen.

Da Verfahren wie der NAPC sich anhand der manuellen Zählung eigenständig erschließen, was das zu zählende Objekt ist, können grundsätzlich durch Austausch zweier Spalten in einer Tabelle statt Personen auch beispielsweise Fahrräder gezählt werden. Der Teufel steckt hier allerdings im Detail, denn erstens ist es natürlich alles andere als garantiert, dass die Datenmenge immer noch ausreicht. Zweitens können filigranere Strukturen im Bildmaterial dazu führen, dass leistungstärkere Netzwerkarchitekturen notwendig sind. Bei Fahrrädern schlagen beide Aspekte durch: Sie sind zwar zahlreich, aber nicht ansatzweise so zahlreich wie Personen und sind gleichzeitig schwerer zuverlässig zu detektieren. Dennoch ist es mit einem NAPC-artigen KI-Ansatz und ausreichend Rechenpower möglich, Fahrräder mit hoher Genauigkeit zu zählen, was immer mehr Verkehrsverträge fordern.

Es ist sogar möglich, unterschiedliche 3D-Technologien einzusetzen, zum Beispiel stereographisch oder Light Detection and Ranging/Time of Flight (LiDAR/ToF) – oder sogar mehrere Quellen in einem Training zu vereinen. Dadurch war es möglich, den NAPC auf einem Bestandssystem direkt auf

dem Sensor zu deployen und eine gutachterliche Zulassung erfolgreich zu bestehen, die der Algorithmus des Sensorherstellers zuvor nicht geschafft hatte. Auch das Bestehen der neusten VDV 457 v2.1 [1] mit mehr als 99 Prozent Zählgenauigkeit ist mit KI-Algorithmen wie dem NAPC möglich, erfordert aber ausreichend Rechenpower.

Entsprechend hat die Interautomation parallel zum NAPC die Deep Learning Unit (DLU) entwickelt – ein Hochleistungsrechner mit Bahnzulassung (Abb. 4). Das Gerät hat also unter anderem Tests zum Brandschutz, der elektromagnetischen Verträglichkeit und mechanische Schocktests bestanden, sodass es in Schienenfahrzeugen eingesetzt werden darf. Die DLU basiert auf der NVIDIA Jetson™ Nano/Xavier NX-Plattform. Neuronale Netze können darin enthaltene GPU (Graphics Processing Unit) und ihre massive Rechenpower nutzen, wodurch leistungshungrigere Architekturen eingesetzt und etwa in der AFZ oder der Objektzählung nachhaltig hohe Genauigkeiten ermöglicht werden. Die ohnehin auf NVIDIA-Hardware entwickelten neuronalen Netze können dadurch direkt auf dem Gerät im Zug nachgenutzt werden, was Kosten

und das Risiko des Scheiterns von Projekten erheblich reduziert. Ist die Anwendung datenintensiv, wie zum Beispiel im Fall moderner AFZ-Sensoren, bietet die DLU ein Gigabit-LAN und es können SSDs als Wechselmedium (zum Beispiel 8 Terabyte) zum Einsatz kommen.

**Fazit**

Die Anforderungen steigen: Sowohl durch wieder zunehmende Benutzerzahlen in öffentlichen Verkehrsmitteln als auch durch anspruchsvollere Verkehrsverträge. Es wird unabdingbar, klassische durch moderne, auf KI basierende AFZ-Systeme zu ersetzen: Sei es über die Bereitstellung von KI-Algorithmen, wie etwa dem NAPC, in Bestandssystemen oder in Kombination mit einem leistungsstarken Bordrechner wie der DLU als Komplettlösung. Deutliche Qualitätssteigerungen sind möglich und auf dem Markt verfügbar.

**Literatur/Anmerkungen**

[1] Die aktuelle Richtlinie des Verbands Deutscher Verkehrsunternehmen zum Thema Automatische Fahrgastzählung.

**Zusammenfassung/Summary**

**Braucht eine moderne Fahrgastzählung KI?**

Mithilfe von künstlicher Intelligenz (KI) können AFZ-Systeme deutlich an Qualität hinzugewinnen. Im Zuge großer Erfolge von KI-Algorithmen in der visuellen Datenverarbeitung hat die Interautomation Deutschland GmbH den NAPC entwickelt, welcher klassische AFZ-Systeme bei weitem übertrifft. Das Verfahren ist skalierbar, sodass es sowohl auf Bestandssystemen noch lauffähig ist als auch moderne Hochleistungsplattformen ideal nutzen kann. Zusammen mit dem eigens entwickelten bahnzugelassenen Bordrechner der Interautomation auf NVIDIA Jetson™ Nano/Xavier NX Basis, der DLU, können besonders hohe Zählgenauigkeiten erreicht werden. Auf diese Weise sind auch präzise Objektzählungen von Fahrrädern realisierbar, welche mit klassischen AFZ-Systemen nicht möglich sind.

**Need modern APC systems the help of AI?**

With the help of artificial intelligence (AI), APC systems can significantly improve in quality. Following the great successes of AI algorithms in visual data processing, Interautomation Deutschland GmbH has developed the NAPC, which far outperforms classic APC systems. The method is scalable so that it can still run on existing legacy systems as well as use modern high-performance platforms in an ideal way. Together with Interautomation's inhouse developed rail-approved NVIDIA Jetson™ Nano/Xavier NX based Jetson on-board computer, the DLU, particularly high counting accuracies can be achieved. In this way, precise object counts of for example bicycles can be realized, which are not possible with conventional APC systems.