

# Intelligente und datensparsame Videoüberwachung in Passagierzügen

Mehr Effizienz und Sicherheit im Personenverkehr dank KI-basierter Videoüberwachung

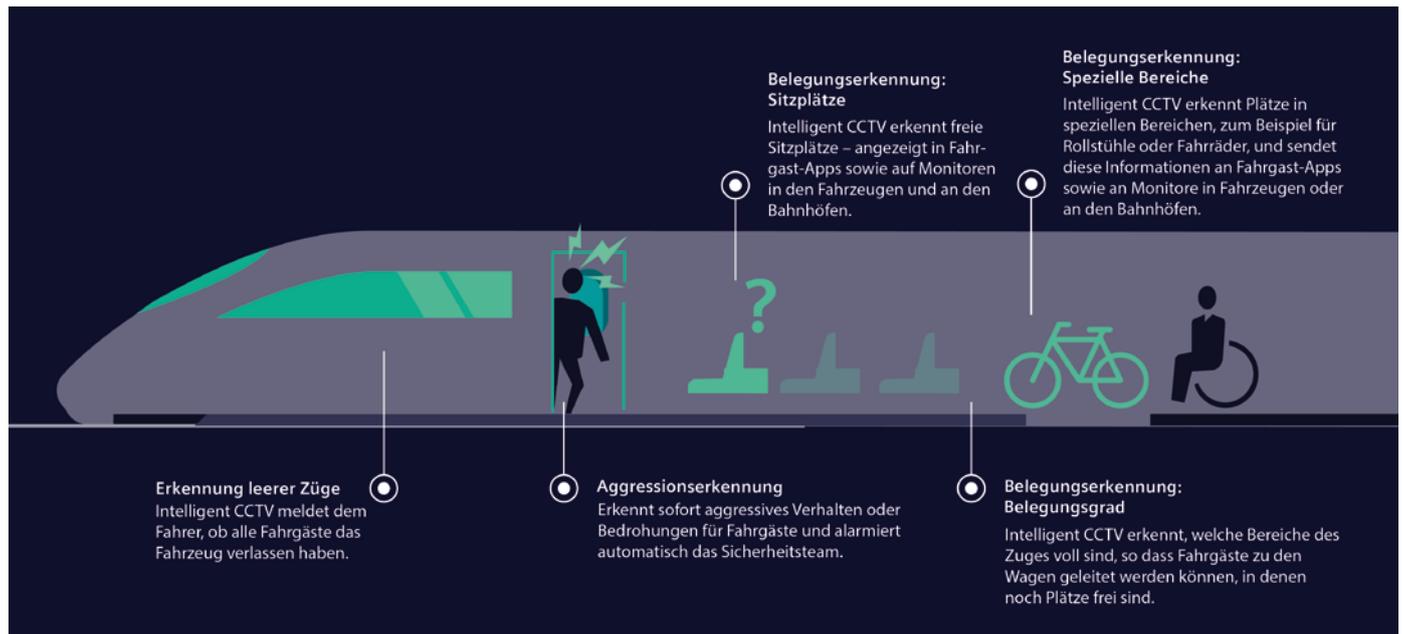


Abb. 1: Anwendungsfälle für iCCTV

## MICHAEL SCHÜSSLER | KARSTEN GERLOFF

Im öffentlichen Personenverkehr setzen Eisenbahnverkehrsunternehmen (EVU) häufig Videoüberwachung ein, um die Sicherheit der Fahrgäste zu erhöhen. Bei Zwischenfällen unter den Passagieren können EVU und Behörden so im Nachgang die aufgezeichneten Videodaten auswerten, um Klarheit über das Vorgefallene zu erhalten und gegebenenfalls Beweise zu sichern. Durch Hinzunahme von Verfahren der Künstlichen Intelligenz (KI) eröffnen sich neue Möglichkeiten. Das Fahrzeug kann damit nicht nur – wie bisher – Aufzeichnungen erstellen, sondern auch Videodaten analysieren und wichtige Daten in Echtzeit an das EVU liefern.

### Vorstellung iCCTV

Intelligente Videoüberwachungssysteme werden in Bereichen wie dem Einzelhandel oder der Gebäudeüberwachung bereits häufig eingesetzt. Auch für EVU (im Folgenden auch: Betreiber) könnten sie Vorteile bringen; jedoch werden sie in Fahrzeugen des öffentlichen Personenverkehrs bisher nur selten genutzt.

Dieser Einsatzbereich stellt Entwickler und Betreiber solcher Systeme vor besondere Herausforderungen, sowohl in technischer Hinsicht als auch mit Blick auf den Schutz personenbezogener Daten.

In diesem Artikel werden die Funktionsweise intelligenter Videoüberwachung und ihre Anwendungsfälle beschrieben. Des Weiteren wird erklärt, wie bei Training und Einsatz solcher Systeme der Datenschutz gewährleistet werden kann.

Um einen sicheren, pünktlichen und wirtschaftlichen Bahnbetrieb sicherzustellen, brauchen EVU stets aktuelle Informationen darüber, was in ihren Zügen vorgeht. Ob es um Auslastung, Nutzung von Bereichen für Fahrräder, Rollstühle und Kinderwagen oder Aggressionserkennung geht: Wissen darüber, wie die Passagiere die Züge nutzen, hilft den Betreibern, ihre Angebote zu optimieren und ihre Kosten zu senken.

Siemens Mobility (SMO) hat für diesen Bedarf das Produkt iCCTV entwickelt, das intelligente Videoanalyse für den Bahnbereich bietet (Abb. 1). Videostrome der im Zug vorhandenen Überwachungskameras werden durch eine in das Zugnetzwerk integrierte Recheneinheit verarbeitet. Videoanalysealgorithmen detektieren Personen, Gegenstände und Situatio-

nen im Kamerabild. Im Zusammenspiel mit der SMO-Plattform Train IT werden die Ergebnisse mit Umgebungsinformationen angereichert und über Schnittstellen nutzbar gemacht.

Als Hardware nutzt iCCTV die Kameras, die für konventionelle Videoüberwachung ohnehin in neuen Fahrzeugen vorhanden sind, ebenso wie deren Netzwerkverbindungen. Für die KI-basierte Videoauswertung wird im Fahrzeug ein zusätzlicher Rechner pro Wagen eingebaut. iCCTV ist in die Siemens-eigene Train IT-Plattform integriert. Train IT steuert die IT-Anwendungen im Betreiberbereich des Fahrzeugs, fungiert als zentrale Drehscheibe für Diagnosedaten und IT-Dienste und sorgt für die Übermittlung von Daten zwischen Zug und Landseite, einschließlich der Erkenntnisse des iCCTV-Systems.

Ein solches System wird ab Ende 2022 in Neufahrzeugen bei der ODEG (Ostdeutsche Eisenbahn GmbH) im Streckennetz Elbe-Spree in Betrieb gehen.

### Einführung in die intelligente Videoüberwachung

Videoanalyse mit KI-Erkennungsverfahren basiert zumeist auf dem Einsatz künstlicher neuronaler Netze (KNN), die aufwendig mit großen Mengen von Beispieldaten für ihre Aufgabe

trainiert werden. Im wissenschaftlichen Umfeld gibt es eine breite Palette frei verfügbarer trainierter KNN, die ihre Erkennungsaufgaben mit sehr hoher Genauigkeit lösen, beispielsweise Schriftzeichenerkennung (OCR) oder Detektion von Personen, Fahrzeugen und Verkehrszeichen in Alltagsszenen.

Es liegt nahe, diese Technologie auch für intelligente Anwendungen im Fahrgastraum in Zügen zu nutzen. Allerdings müssen die KI-Erkennungsverfahren erst auf die dortigen Gegebenheiten angepasst werden. Szeneninhalte, Blickwinkel und Abstände der Kameras sowie Erkennungsaufgaben unterscheiden sich nicht nur teils erheblich von herkömmlichen Einsatzszenarien; sie sind auch von Betreiber zu Betreiber unterschiedlich.

Beispielsweise entstehen statt einer gleichmäßigen Ausleuchtung durch die Bewegung des Fahrzeuges schnelle, unregelmäßige Wechsel von Licht und Schatten. Auch die Blickwinkel der Kameras sind verschieden. Im Unterschied zu herkömmlicher Videoüberwachung in Gebäuden sind die Abstände zu den Personen im Zug deutlich geringer. Auch verdeckt durch den engen Raum oft eine Person optisch die andere. Eine zuverlässige KI-basierte Bilderkennung für Schienenfahrzeuge muss mit all diesen Herausforderungen fehlerarm umgehen können.

#### Anwendungsfälle

Die KI-basierte Videoanalyse bietet EVU eine Vielzahl von Möglichkeiten, um ihren Betrieb zu optimieren, und Komfort und Sicherheitsgefühl der Passagiere zu steigern.

#### Anwendungsfall Aggressionserkennung

Leider kommt es im öffentlichen Raum immer wieder zu aggressivem Verhalten. Dies gilt

auch für den ÖPNV. Solche Vorfälle beeinträchtigen nachhaltig das Wohlbefinden der Passagiere und führen zu Verzögerungen und Unterbrechungen im Bahnbetrieb. Anders als beispielsweise im Bereich der Gebäudetechnik, wo alle Videostreams der Überwachungskameras in einer Zentrale zusammenlaufen und jederzeit einsehbar sind, haben Züge meist keine breitbandigen Datenverbindungen zur Landseite. Eine Sichtung oder automatische Analyse der Videobilder muss also „on-edge“, d. h. im Zug erfolgen.

Wenn aggressive Vorgänge im Zug rechtzeitig erkannt werden können, können sie durch Eingriffe des EVU-Personals gestoppt oder die Folgen minimiert werden. Die intelligente Videoüberwachung durch iCCTV detektiert aggressives Verhalten von Personen und meldet dies an das Train IT-System des Fahrzeuges. Dieses reichert die Meldung mit Informationen zur Position im Zug und Streckeninformation an und sendet sie dann über die Zug-Land-Datenverbindung zur Leitstelle des Betreibers.

Dort werden die Mitarbeiter durch einen Alarm auf den Vorfall aufmerksam gemacht. Sie können sich von der Transportleitstelle aus einen Livestream der entsprechenden Kamera auf dem Fahrzeug ansehen, um die Situation zu beurteilen. Dann können sie über mögliche Maßnahmen entscheiden: etwa eine Durchsage im Zug vornehmen, das Zugpersonal informieren oder Sicherheitspersonal und/oder Rettungskräfte benachrichtigen.

#### Anwendungsfall Belegungsgrad

Zeitnahe Informationen über die Auslastung von Fahrzeugen und einzelnen Wagen erlauben es den EVU, ihre Fahrgäste schon vor Ein-

stieg ins Fahrzeug über die Auslastung einzelner Zugabschnitte zu informieren. Damit wird eine gleichmäßigere Verteilung der Passagiere beim Ein- und Aussteigevorgang erreicht.

Um den Belegungsgrad eines Zugabschnittes festzustellen, detektiert und zählt die intelligente Videoüberwachung Personen, die sich in den einzelnen Zugabschnitten aufhalten. Daraus entstehen wertvolle Informationen, in welchen Bereichen der Zug stark gefüllt ist und wo noch viel Platz ist. Anzeigemedien am nächsten Bahnhof können wartende Fahrgäste bereits vor Eintreffen des Zuges darüber informieren, wo ein komfortables und rasches Einsteigen möglich ist. Dies wirkt sich nicht nur positiv auf die Zufriedenheit der Fahrgäste aus, sondern reduziert auch Umsteigezeiten und erhöht die Zuverlässigkeit, dass der Fahrplan eingehalten werden kann.

#### Anwendungsfall Sonderbereiche und Sitzplatzbelegung

Besondere Aufmerksamkeit bei der Suche nach freien Plätzen im Zug verdienen Fahrgäste, die dabei weniger schnell und flexibel agieren können, wie beispielsweise Personen im Rollstuhl und Personen mit Kinderwagen oder einem Fahrrad. Intelligente Videoüberwachung analysiert die Belegung der vorhandenen Sondernutzungsplätze im Zug. Damit können Betreiber diesen Fahrgästen die nötigen Informationen liefern, um ihnen eine geeignete Einsteige- und Sitzposition am Bahnsteig zu empfehlen.

Auf die gleiche Weise kann iCCTV auch Daten über die Belegung von Standard-Sitzplätzen liefern. Sofern am Bahnhof oder in einer Fahrgast-App eine sitzplatzgenaue Anzeige möglich ist, können EVU es beispielsweise einer vierköpfigen Familie leichter machen, eine passende Sitzgruppe zu finden.

# RAILWAY



DC Schütz  
CP



AC Schütz  
CF



Fahrschalter



Steckverbinder  
UIC-IT



Schnapp-  
schalter

**SCHALTBAU**  
Connect Contact Control



Schalten und Steuern bei Höchstbeanspruchung

Halle 2.2 Stand 110  
20.-23.09.2022, Berlin



Abb. 2: Standard-Anonymisierung

**Anwendungsfall Zug-Leer-Erkennung**

Bevor das Fahrzeug am Ende der Fahrt abgestellt und verschlossen werden kann, muss sichergestellt werden, dass sich niemand mehr darin befindet. Intelligente Videoüberwachung unterstützt den Triebfahrzeugführer (Tf) bei dieser Aufgabe, indem sie Personen oder größere Objekte detektiert und dem Tf meldet, an welcher Stelle im Zug sich diese befinden. Damit kann täglich Personalzeit eingespart werden.

**Entwicklung des Systems und Datenschutz**

Bei der Videoüberwachung im öffentlichen Raum hat der Schutz persönlicher Daten eine hohe Priorität. Im Produktiveinsatz gewährleistet iCCTV den Schutz personenbezogener Daten dadurch, dass die entstehenden Videodaten direkt im Zug im Hauptspeicher der Re-

cheneinheit in Echtzeit verarbeitet werden. Sie werden zu keiner Zeit – auch nicht temporär – auf einem Datenträger gespeichert. Das System bezieht die Bilder direkt von den Kameras, verarbeitet sie ausschließlich im flüchtigen Speicher und löscht sie anschließend vollständig. Die ermittelten Ergebnisse, wie z.B. Zählung der Personen oder bestimmte Ereignisse, sind abstrakt und ohne Personenbezug. Für die Entwicklung von iCCTV war und ist es erforderlich, die intelligente Videoüberwachung jeweils für die spezifische Zugflotte nachzutrainieren, in der sie eingesetzt werden soll. Dieses Nachtraining geschieht beim Hersteller mit echtem Videomaterial aus den betreffenden Zügen. Hierbei, ebenso wie beim Produktiveinsatz des Systems, müssen stets die strikten Vorgaben der europäischen Datenschutzgrundverordnung (DSGVO) eingehalten werden.

Beim kunden- bzw. flottenspezifischen Nachtraining des Systems lassen sich diese rechtlichen Anforderungen an den Schutz personenbezogener Daten durch herkömmliche Anonymisierungsverfahren nur mit großem Aufwand erfüllen.

Die Funktionsweise dieser herkömmlichen Verfahren ist in Abb. 2 dargestellt: Zunächst werden Personen bzw. Gesichter mit einem vortrainierten Modell im Bild detektiert, anschließend können die detektierten Bereiche verfremdet (z.B. verpixelt) werden. Dieser Ansatz hat jedoch eine inhärente Schwäche: Kein Detektionsmodell kann mit Sicherheit alle Personen in Bildern detektieren; Personen bleiben aber unverfremdet, wenn das Detektionsmodell sie nicht als solche erkennt.

**Neuartiges Anonymisierungsverfahren**

Um dieses Problem zu lösen, hat SMO ein Verfahren entwickelt, bei dem das System parallel zwei sich ergänzende Anonymisierungsstrategien verfolgt.

Zum Verständnis muss man zunächst wissen, dass die Entwicklung von KI-Erkennungsverfahren sowohl das Bildmaterial benötigt als auch die Information darüber, was im Bildmaterial zu sehen ist (sog. ground truth oder Annotation). Bei dem von SMO entwickelten Verfahren werden die Originalbilder so vorverarbeitet, dass sie noch zum Training und zur Annotation geeignet sind, aber nicht mehr rekonstruiert werden können.

Jedes einzelne Bild des Videos wird parallel durch zwei Verarbeitungsschritte geführt, wie in Abb. 3 dargestellt ist. Zum einen werden aus dem Videobild die für das Training der KNN wesentlichen Features extrahiert und gespeichert. Die Feature-Extraktion ist irreversibel, d.h. es ist nicht möglich, aus den gespeicher-

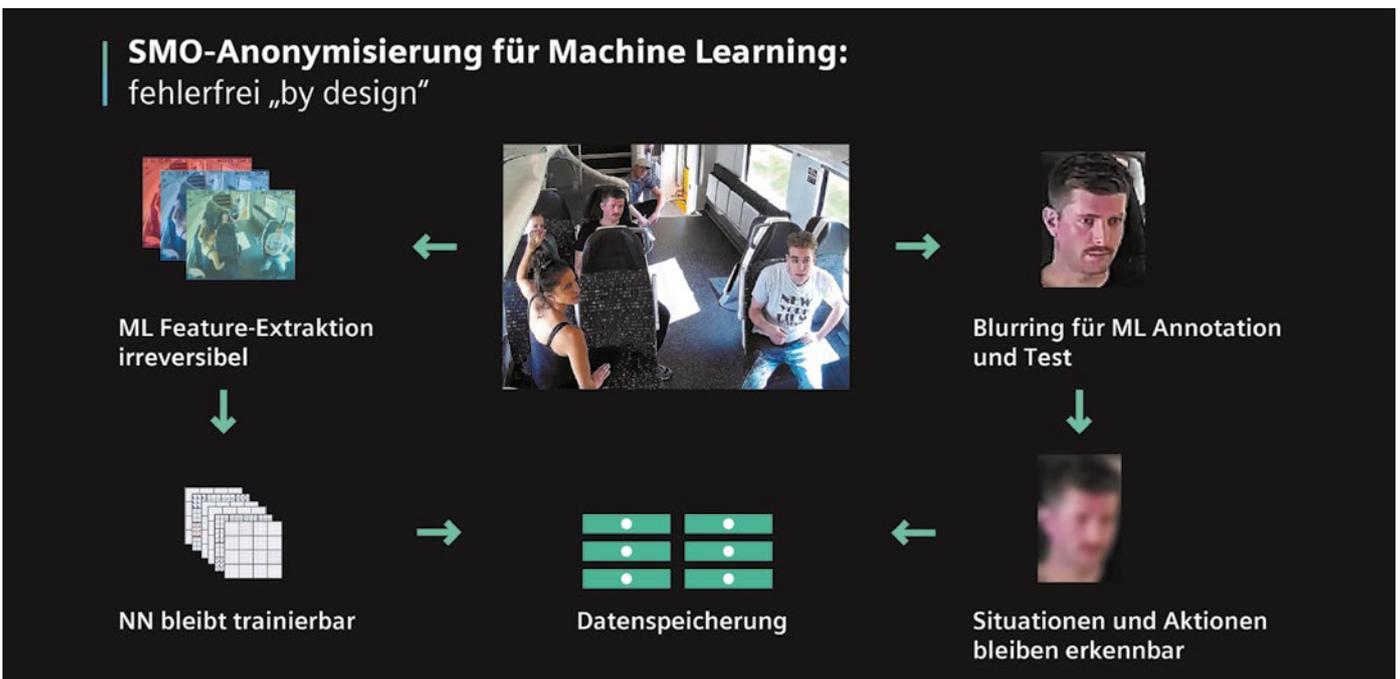


Abb. 3: Anonymisierung für Machine Learning (ML)



ten Features das Originalbild zu rekonstruieren. So zielt iCCTV z.B. bei der Aggressionserkennung allein auf typische Bewegungsmuster ab; die identifizierenden Merkmale der beteiligten Personen spielen dabei keine Rolle.

Zum anderen werden für die bei Training und Test benötigten Annotationsdaten die Bilder verkleinert und durch Glättung verfremdet, sodass Personen nicht mehr identifiziert werden können. Die Entwickler und Annotierer können dennoch weiterhin Situationen und Aktionen im Bild genau genug erkennen, um zu beurteilen, ob das System seine Erkennungsaufgabe korrekt erfüllt hat. Die so veränderten Bilder werden gespeichert. Wenn beide Verarbeitungsschritte abgeschlossen sind, wird das Originalbild aus dem Arbeitsspeicher gelöscht.

Sowohl Feature-Extraktion als auch Verfremdung werden stets auf das gesamte Bild angewendet, sodass es keine Detektionslücken wie bei herkömmlicher Anonymisierung geben kann.

Bei der Erhebung der Trainingsdaten werden beide Anonymisierungsverfahren im Zug auf die Originaldaten angewendet. Gespeichert werden nur die anonymisierten Daten, während die Originaldaten nicht gespeichert werden. Damit enthalten die für das KI-Training gespeicherten Daten keine personenbezogenen Daten mehr.

Diese Vorgehensweise vereinfacht die rechtskonforme Handhabung und Speicherung der Videodaten: Erstmals können Videodaten mit Personenbezug rechtssicher im Bereich der DSGVO verarbeitet werden, ohne sich Nachteile für die Erkennungsaufgabe einzuhandeln. Da keine personenbezogenen Daten gespeichert werden, müssen Betreiber keine besonderen Maßnahmen zu deren Schutz treffen. Gleichzeitig erhöht dieser Ansatz die Akzeptanz des Systems bei den Passagieren.

#### Fazit

EVU können auf Basis von iCCTV verschiedene Funktionen realisieren, die sowohl für Passagiere als auch für das Betriebspersonal nützlich sind: Etwa eine dynamische Sonderplatzerkennung, wagengenaue Belegungsanzeige und die Meldung, dass sich keine Fahrgäste mehr im Zug befinden. All diese Funktionen können z.B. als Web-Schnittstellen oder Apps realisiert werden.

Insbesondere die Aggressionserkennung ermöglicht ein direktes Eingreifen des EVU-Personals in kritischen Situationen. Sie trägt dadurch zum Sicherheitsgefühl und Wohlbefinden der Passagiere bei und hilft dem EVU, Betriebsstörungen zu vermeiden. Gleichzeitig erlauben der Aufbau von iCCTV generell und insbesondere der Einsatz des innovativen Trainingsverfahrens die strikte Einhaltung datenschutzrechtlicher Vorgaben sowohl in der Trainings- als auch in der Einsatzphase.

Intelligente Videoüberwachung nutzt großenteils vorhandene Ausstattung im Fahrzeug, um einen deutlich größeren Funktionsumfang zu bieten. Weit über die bloße Beweissicherung hinaus erlaubt diese Technik innovative Funktionen für einen effizienteren Bahnbetrieb, höhere Pünktlichkeit und mehr Fahrgastkomfort. ■



#### Dr. Michael Schüssler

Technical Product Owner iCCTV  
Siemens Mobility GmbH, Berlin  
michael.schuessler@siemens.com



#### Karsten Gerloff

Software Business Architect  
Siemens Mobility GmbH, München  
karsten.gerloff@siemens.com

# EMPOWERING RAILWAY BUSINESS

Ganz gleich, ob in der Signaltechnik, der Infrastruktur oder im rollenden Verkehr – mit WAGO haben Sie einen erfahrenen und zuverlässigen Partner an Ihrer Seite: von der elektrischen Anschlussstechnik über Interface-Module bis hin zur Automatisierungslösung – wir bieten Ihnen alles aus einer Hand und das weltweit.

[www.wago.com/de/bahntechnik](http://www.wago.com/de/bahntechnik)