

# Echtzeit- Personenerkennungs- und Lokalisierungssystem für das Notfallmanagement auf großen Kreuzfahrtschiffen

Shaunak Atul Kanikar<sup>1,\*</sup> , Nina Bakalova<sup>1,\*</sup> , Steven Behm<sup>1,\*</sup>  und Benjamin Hohnhäuser<sup>1,\*</sup> 

<sup>1</sup>Gesellschaft zur Förderung angewandter Informatik (GFal) e.V., Berlin, Germany

\*Correspondence: Shaunak Atul Kanikar (kanikar@gfai.de), Nina Bakalova (bakalova@gfai.de), Steven Behm (behm@gfai.de), Benjamin Hohnhäuser (hohnhaeuser@gfai.de)

**Abstract.** Die Sicherheit in Maschinenräumen auf Kreuzfahrtschiffen ist aufgrund komplexer Layouts, hoher Personenzahlen und weitläufiger Versorgungssysteme eine Herausforderung. Notfälle wie Dampfrohrbrüche können die Sicht stark einschränken, wodurch es zu Verzögerungen bei der Evakuierung in gefährdeten Bereichen kommt. Dies verzögert die Erkennung hilfsbedürftiger Personen und erhöht das Verletzungsrisiko. Wir präsentieren ein KI-basiertes Proof of Concept zur Echtzeit-Personenerkennung und -lokalisierung. Bei diesem Ansatz werden Überwachungskameras genutzt welche Personen erfasst und die ermittelten Standorte auf einer Karte mit vordefinierten Schiffsbereichen visualisiert. Durch zeitliche Verfolgung wird eine aktuelle Übersicht über die Personenverteilung gewährleistet. Das System wurde in einer simulierten Indoor-Umgebung getestet. Raspberry Pi-Kameras, synchronisiert über das Network Time Protocol (NTP), stellen einheitliche Zeitstempel sicher. Überlappende Kamerabereiche wurden optimiert, um Mehrfachzählungen zu vermeiden. Zur Personenerkennung wurde das vortrainierte Echtzeitmodell YOLOv8 verwendet. Die Standorte wurden mittels OpenCV und Matplotlib auf einer Modell-Karte visualisiert. Zukünftige Arbeiten fokussieren auf verbesserte Robustheit bei schlechter Sicht, Skalierbarkeit für größere Überwachungsbereiche und optimierte Modellierung. Über Kreuzfahrtschiffe hinaus bietet das System Potenzial für andere sicherheitskritische Bereiche mit hoher Personendichte und komplexen Infrastrukturen. Die präzise Echtzeitverfolgung erleichtert und beschleunigt Rettungseinsätze und erhöht Sicherheitsstandards für Passagiere und Personal.

**Keywords:** Sicherheit, Kreuzfahrtschiffe, Digital Transformation, KI, Personenerkennung, YOLOv8, Industrieanlagen

## 1. Einführung

### 1.1 Motivation und Problemstellung

Die Sicherheit von Personen in kritischen Notfallsituationen ist von größter Bedeutung, da kurze Reaktionszeiten von entscheidender Bedeutung sind und dazu beitragen,

Leben zu retten. Oft lassen sich Unfälle kaum oder gar nicht vermeiden, sind zum Teil unvorhersehbar und führen zu chaotischem menschlichen Verhalten. Hindernisse wie Rauch, Dampf oder die komplexe Architektur von Gebäuden können die Sicht einschränken, und häufig ist unklar, wo sich wie viele Personen in den überwachten Bereichen befinden.

Um die Sicherheit zu erhöhen, stellen wir ein Proof of Concept (PoC) KI-System zur Personenerkennung und -lokalisierung in Echtzeit vor. Das entwickelte System soll Personen anhand von Überwachungskamerabildern in Maschinenräumen auf Kreuzfahrtschiffen erkennen und zählen. Die erfassten Personen werden auf einer Karte visualisiert, sodass genau ersichtlich ist, wo sie sich befinden und wie viele es sind.

Ein solches automatisiertes Überwachungssystem ist äußerst effektiv in bestehende Umgebungen integrierbar, da bereits bestehende Kamerasysteme niederschwellig ergänzt und verwendet werden können. Eine einfache Erweiterung (Skalierung) ist meist problemlos und einfach möglich. Das Auswertungssystem ist modular anpassbar und kann flexibel an die vorhandene Arbeitslast adaptiert werden. Zudem können zusätzliche Kameras per Plug and Play in das bestehende Gesamtsystem integriert werden, was eine kostengünstige Alternative zu anderen Lösungen darstellt.

## 1.2 Stand der Technik

Kameras und Überwachungssysteme haben sich im Laufe der Jahre erheblich weiterentwickelt. Alexis Roger analysiert in dem Paper "A review of modern surveillance techniques and their presence in our society" [1] den Wandel der Überwachungstechnologien in unterschiedlichen Anwendungsfeldern. Ein Beispiel stellt die Überwachung in China dar, vor allem im Zusammenhang mit dem staatlich implementierten Social Credit System. Dieses System, das das Verhalten der Bürger beurteilt, hat das Land in ein strenges Überwachungsregime verwandelt, in dem hochmoderne Kameras und Gesichtserkennungstechnologien zum Einsatz kommen. Im Gegensatz dazu richten sich die Überwachungssysteme, wie zum Beispiel in Europa, oft auf bestimmte Bereiche wie die Verkehrskontrolle, durch Autobahnüberwachungssysteme [1] aus.

Eine weitere Veröffentlichung mit dem Titel "Biometrische Videoüberwachung durch Künstliche Intelligenz: Zulässigkeit, Grenzen und Risiken" [2] behandelt das Thema der biometrischen Videoüberwachung mittels Künstlicher Intelligenz (KI). Die Autorin untersucht die verwendeten Technologien sowie die damit verbundenen Risiken, wobei sie insbesondere den Aspekt des Schutzes der Privatsphäre in den Blick nimmt.

Solche biometrischen Systeme untersuchen Videoaufnahmen, um Bilder zu extrahieren, Gesichter zu erkennen und zu analysieren. Eine Vorgehensweise, die auch im chinesischen Social Credit System verwendet wird. Das Paper hebt außerdem hervor, dass moderne Technologien inzwischen eine Echtzeiterkennung aus Videostreams ermöglichen.

## 1.3 Zielsetzung

Ziel ist die Entwicklung eines skalierbaren Überwachungssystems, das sicher und zuverlässig Menschen in Notsituationen erkennt und Aufenthaltsorte schnell sowie mit hoher Genauigkeit an die zuständigen Stellen übermittelt. Das System soll kostengünstig sein und präzise Auskunft darüber geben, wie viele Menschen sich innerhalb eines überwachten Bereichs aufhalten. Im Falle von Ausfällen oder Sichtbehinderungen (z. B.

durch eine Havarie) kann eine Historie der letzten verlässlichen Informationen wertvolle Hinweise liefern.

Es soll zudem benutzerfreundlich gestaltet werden, sodass für den Endnutzer idealerweise nur eine Karte mit Personenpositionen und -anzahl angezeigt wird. Das System ist modular aufgebaut und flexibel erweiterbar. Je nach Einsatzgebiet und Situation kann es mit zusätzlichen Kameras ausgestattet werden, um größere oder komplexere Überwachungsbereiche abzudecken. Eine intelligente Synchronisation der Kameras ermöglicht eine nahtlose Integration neuer und ggf. weiterer Sensoren, ohne die bestehende Infrastruktur wesentlich zu verändern. Dadurch kann das System nicht nur in Maschinenräumen auf Kreuzfahrtschiffen, sondern auch in anderen sicherheitskritischen Umgebungen wie Industrieanlagen und weiteren effizient eingesetzt werden.

Datenschutz und ethische Aspekte werden berücksichtigt, indem ausschließlich eine Personenerkennung, jedoch keine -identifikation erfolgt. Es werden lediglich personenrelevante Informationen wie Position und Anzahl gespeichert, um Datenschutzangriffen vorzubeugen.

## 2. Systemdesign und Implementierung

### 2.1 Systemarchitektur

Zur Erfassung von Bilddaten wurden Raspberry Pi-basierte Kameras eingesetzt, die mithilfe des Network Time Protocols (NTP) synchronisiert wurden. Dies gewährleistet eine präzise zeitliche Abstimmung aller Kameras, sodass die aufgenommenen Bilder konsistente Zeitstempel ausweisen. Um eine doppelte Erfassung von Personen zu vermeiden, wurden die überlappenden Sichtfelder der Kameras sorgfältig abgestimmt. Die Kameras wurden so positioniert, dass die Wahrscheinlichkeit der Verdeckung von Personen minimiert wurde. Für die Personenerkennung wurde das vortrainierte Modell YOLOv8 mit Echtzeitfunktionen eingesetzt. Folgende Kameras wurden eingesetzt:

#### **Raspberry Pi High Quality Kamera: [3]**

- Auflösung: 12 Megapixel
- Pixelgröße: 1,55x1,55  $\mu\text{m}$
- Objektiv: C-Mount, CS-Mount (C-CS Adapter inklusive)
- Lichtempfindlichkeit: Die Kamera bietet auch bei schwachem Licht eine hervorragende Bildqualität, was sie ideal für verschiedene Umgebungen macht.
- Positionierung: Die Kameras sind strategisch an verschiedenen Punkten platziert, um eine umfassende Abdeckung des Überwachungsbereichs zu gewährleisten.

Raspberry Pi Einplatinen-Computer wurden für die Kamerasteuerung eingesetzt:

#### **Raspberry Pi 5: [4]**

- RAM: 8 GB
- Datenübertragungsrate: bis zu 1000 Mb/s

Zudem wurden die erkannten Objekte und deren Häufigkeit in Echtzeit auf einer Karte der überwachten Bereiche dargestellt. Durch die Transformation der Erkennungsdaten vom Kameraraum in den Modellraum konnte die Position der erfassten Personen mithilfe von Python-Bibliotheken wie OpenCV und Matplotlib visualisiert werden.

#### **Visualisierungen**

Für den Proof of Concept wurde eine Karte erstellt, welche die Architektur und die Positionierung der Kameras abbildet. Das Karten-Layout stellt die Karte mit ihren

überwachten Bereichen dar. Zudem wird die Anordnung der Kameras in den relevanten Beobachtungsbereichen sowie die Position der Endpunkte (Exits) visualisiert.

### Karte (Karten-Layout)

Die Karte zeigt die räumliche Anordnung der Kameras sowie die relevanten Überwachungsbereiche. Sie bildet die Grundlage für die Echtzeit-Integration und ermöglicht die Analyse der erfassten Daten.

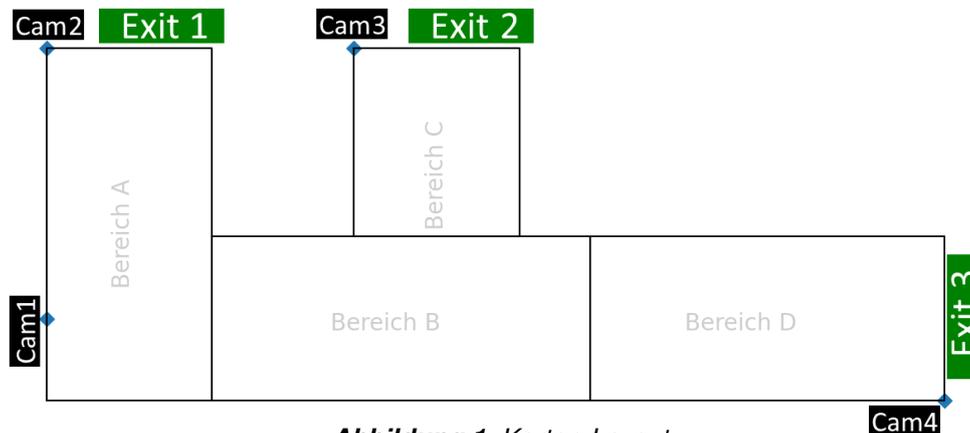


Abbildung 1. Karten-Layout

Für den Proof of Concept wurden die berechneten Personenpositionen und -anzahl zusammen mit Zeitstempeln in einer JSON-Datei gespeichert. Die JSON-Datei dient hierbei als Datenbank für den Proof of Concept und bildet gleichzeitig eine Historie der Abläufe in den Überwachungsbereichen.

## 2.2 Hardware

Für den Proof of Concept wurden ausschließlich Bildkameras verwendet. Der Leistungsumfang umfasst keine Szenarien mit Rauch, Dampf oder anderen Sichtbehinderungen. Alternative Sensorsysteme, die unabhängig vom sichtbaren Lichtspektrum arbeiten, könnten LIDAR- und Infrarotsensoren beinhalten und müssten in nachgelagerten Arbeitsschritten untersucht werden.

## 2.3 Software und Algorithmen

### 2.3.1 Personenerkennung

Bei der Entwicklung des Proof of Concept wurden Matplotlib, OpenCV und YOLOv8 verwendet.

Matplotlib ist eine quelloffene Bibliothek zum Erstellen von 2D plots in Python und wurde genutzt, um Aufnahmen darzustellen. [5]

OpenCV ist eine quelloffene Computer-Vision- und Machine-Vision-Bibliothek, die komplexe Bildverarbeitungsaufgaben löst [6]. OpenCV wurde genutzt, um die Datenhaltung und Verarbeitung der aufgenommenen Kamerabilder innerhalb der Software zu gewährleisten sowie um berechnete Boundingboxen auf die Aufnahmen zu plotten.

YOLO (You Only Look Once) ist eine Echtzeit-Objekterkennungstechnik, mit der Objekte in Aufnahmen und Videos erkannt werden können. Die aktuelle Version von YOLO ist YOLOv8, die von Ultralytics entwickelt wurde. YOLOv8 ist somit eine erweiterte Version von YOLO, die auf früheren Versionen aufbaut. Die neue Version ermöglicht eine

verbesserte Objekterkennung, -segmentierung und -klassifizierung in Echtzeit sowie eine höhere Erkennungsgenauigkeit gegenüber ihren Vorgängern. [7].

### 2.3.2 Kamerasynchronisierung

Innerhalb des Proof of Concept basiert die Architektur des Überwachungssystems auf einer zentralen Serverarchitektur sowie mehreren Raspberry Pi als Clients, welche jeweils mit einer Kamera verbunden sind und vom Server angesteuert werden können.

Die Zeitsynchronisation der Clients erfolgt über das Network Time Protocol (NTP), welches sicherstellt, dass alle Systemkomponenten mit der gleichen Uhrzeit arbeiten und dass gesetzte Zeitstempel die gleiche Zeitbasis haben.

Der Aufbau des Systems funktioniert wie folgt:

- Der Server dient als NTP-Zeitquelle und stellt die Zeit für alle Clients mittels des verwendeten Protokolls über das Netzwerk bereit
- Die Clients (Raspberry Pis) sind als NTP-Clients konfiguriert und synchronisieren ihre Uhrzeiten in regelmäßigen Abständen mit dem Server.
- Jede Kamera ist mit einem eigenen Raspberry Pi verbunden, der für die Steuerung und Datenerfassung dieser Kamera zuständig ist. Die Kameras werden entsprechend der vorherrschenden Architektur positioniert und ausgerichtet um eine möglichst umfassende Abdeckung zu erreichen. Tote Winkel und Bereiche müssen entdeckt und minimiert werden. Überschneidungen von Bildbereichen führen zu Mehrfachzählungen, welches in einem späteren Schritt Softwareseitig gelöst werden.

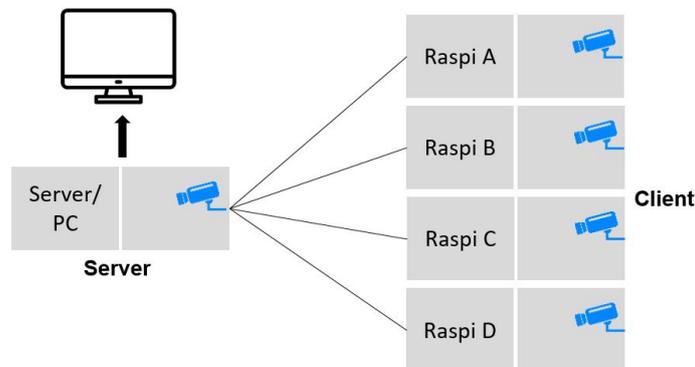


Abbildung 2. NTP-Synchronisierung

### 2.3.3 Vermeidung von Mehrfachzählungen

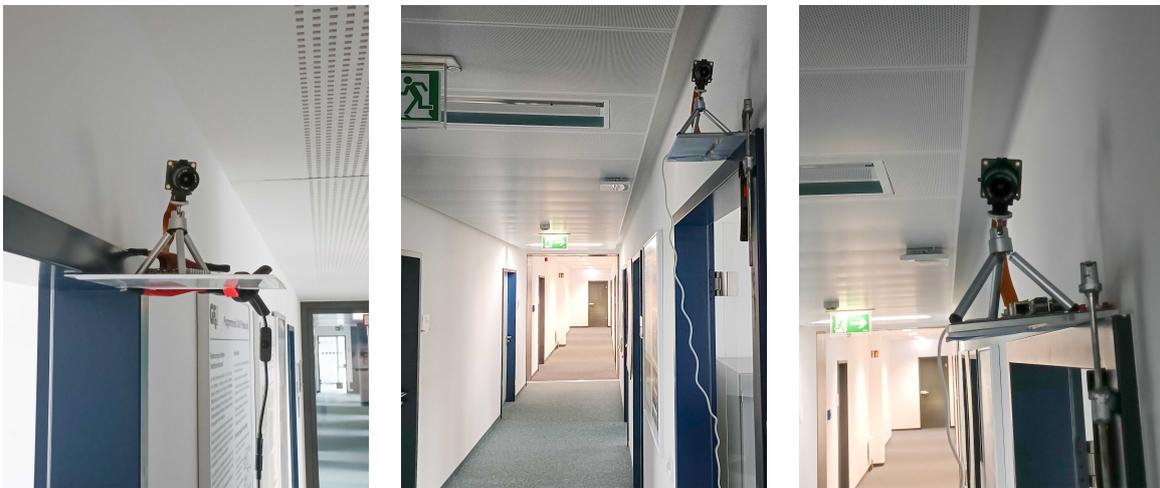
Mehrfachzählungen treten in überlappenden Kamera-Bildbereichen auf und müssen verhindert werden, da sonst eine falsche Personenanzahl vom System angegeben wird. Für den Proof of Concept wurde eine Methode angewendet, bei der die erkannten Personen in den Überlappungsbereichen durch die Anzahl der Kameras, die diesen Bereich abdecken, geteilt wurden. Für komplexere Architekturen und Szenarien müssen in zukünftigen Arbeiten Alternativen entwickelt werden, die spezifische Aspekte der jeweiligen Umgebung berücksichtigen.

### 3. Evaluation

#### 3.1 Testumgebung

Für den Proof of Concept wurde ein langer, schmaler Korridor mit Abzweigungen und mit mehreren angrenzenden Büros als Aufnahmeumgebung verwendet. In Anlehnung an Maschinenräume auf Kreuzfahrtschiffen, in denen ebenfalls längere Gänge mit Abzweigungen zu erwarten sind, stellt dies ein gutes Beispiel dar. Es gibt drei definierte Endpunkte (Exits), vier Kameras sowie mehrere überlappende Bereiche.

Die Testpersonen durchlaufen in verschiedenen Szenarien die Testumgebung und erreichen unterschiedliche Endpunkte. Die Szenarien umfassen typisches menschliches Laufverhalten und lassen sich in folgende Kategorien einteilen: alleinige Fortbewegung, paarweises Gehen, Begegnungen zwischen Personen, aneinander vorbeigehen, schnelles Gehen, Rennen und weitere.



**Abbildung 3.** Kamerapositionen im Überwachungsbereich: Strategische Positionierung für maximale Sicht

#### 3.2 Ergebnisse

Um die Genauigkeit des Systems zu validieren, wurden Videoaufnahmen der Test-szenarien erstellt. Diese können dem Erkennungssystem anstelle von Livestreams zugeführt werden. Dadurch konnten die Ergebnisse des Erkennungssystems mit den Einschätzungen von Personen verglichen werden, die sich ebenfalls die Aufnahmen angesehen haben. Die Auswertung des Proof of Concept zeigt eine hohe Zuverlässigkeit des Erkennungssystems. Personen werden in den einzelnen Frames detektiert und in das Modell integriert.

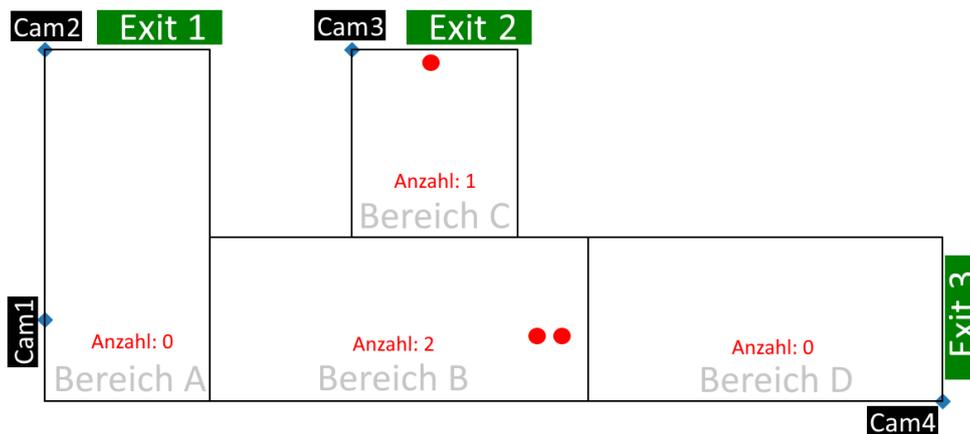
Die Karte wurde für den Proof of Concept mit einem einfachen Design entworfen. Ziel war es, schnell die Anzahl der Personen sowie deren Position anzuzeigen und ablesen zu können. Dafür werden rote Punkte auf die Karte geplottet, die den Positionen der erkannten Personen entsprechen. Zudem verfügen die einzelnen Bereiche über eine schriftliche Anzeige der gezählten Personen in den jeweiligen Aufnahmebereichen.

Die Personen wurden korrekt durch das Erkennungssystem detektiert und in der Datenhaltung registriert. Die Problematik der Mehrfachzählungen in Überlappungsbereichen wurde erfolgreich gelöst. Innerhalb des Proof of Concept konnten keine Mehrfachzählungen festgestellt werden. Zudem zeigten die unterschiedlichen

Aufnahmeszenarien, dass verschiedene Bewegungsabläufe der Testpersonen keinen negativen Einfluss auf die Erkennung haben.

Die Abbildung 4 zeigt die Karte mit folgenden erkannten Personen, die in Abbildung 5 detektiert worden sind: Im Bereich A befinden sich keine Personen (Anzahl: 0), im Bereich B zwei Personen (zwei rote Punkte, Anzahl: 2), im Bereich C wird eine Person detektiert und im Bereich D hält sich keine Person auf.

Zusätzlich sind auf der Karte die Fluchtwege markiert, einschließlich der Anzahl der verfügbaren Ausgänge. Die Idee der Karte besteht darin, die Anzahl der Personen in den überwachten Bereichen in Echtzeit zu visualisieren und deren genaue Positionen innerhalb der Bereiche zu bestimmen.



**Abbildung 4.** Visualisierung der Personenerkennung in den unterschiedlichen Bereichen des Überwachungsgebiets auf der Karte



**Abbildung 5.** Aufnahmen der Kameras mit den erkannten Personen. Oben links: Kamera 1 blickt in Richtung Bereich B, es werden zwei Personen erkannt. Unten links: Kamera 3 blickt in Richtung Bereich C und B und erkennt eine Person

In Abbildung 5 sind die vier Aufnahmebereiche der Kameras dargestellt, die jeweils ihren überwachten Bereich erfassen. Die detektierten Personen werden durch geplottete Bounding-Boxen markiert und sind dadurch leicht erkennbar. Kameraausschnitt 1 (Cam 1) in Abbildung 5 zeigt, dass auch ausreichend entfernte Personen korrekt unterschieden, detektiert und markiert werden können. In Kameraausschnitt 4 (Cam 4) hingegen sind die Personen zu weit entfernt und werden nicht erkannt. Die berechneten Personenpositionen (rote Marker) sowie die Gesamtanzahl der Personen pro Bereich werden auf der Karte visualisiert (siehe Abbildung 4). Das im Proof of Concept genutzte Erkennungssystem arbeitet mit einer Geschwindigkeit von 30 FPS und erfüllt damit das Kriterium der Rechtzeitigkeit.

### 3.3 Diskussion

Ein System, das sowohl einzelne als auch mehrere Personen in Echtzeit erkennt und in eine Datenhaltung integriert, muss ethische und datenschutzrechtliche Aspekte berücksichtigen. Insbesondere ist sicherzustellen, dass ein Missbrauch der Personen-erkennung bereits im Vorfeld verhindert wird.

Das hier vorgestellte System wurde unter Berücksichtigung dieser Anforderungen entwickelt und setzt auf eine anonymisierte Datenerhebung. Dabei werden keine Bilddaten gespeichert, sondern ausschließlich die Informationen zur Personenanzahl und -position mit Zeitstempeln in der Datenbank erfasst. Eine Identifikation einzelner Personen, beispielsweise durch Gesichtserkennung oder biometrische Abgleiche, wird vom System nicht unterstützt und ist bewusst ausgeschlossen.

Neben dem Schutz personenbezogener Daten ist auch die technische und organisatorische Sicherheit des Systems von Bedeutung. Maßnahmen wie eine verschlüsselte Datenübertragung, Zugriffskontrollen und die Einhaltung relevanter Datenschutzrichtlinien müssen gewährleistet sein, so dass die erhobenen Informationen ausschließlich für den vorgesehenen Zweck genutzt werden. Zudem ist eine regelmäßige Evaluierung der Datensicherheit erforderlich, um potenzielle Risiken frühzeitig zu erkennen und entsprechende Gegenmaßnahmen zu ergreifen.

## 4. Ausblick

Obwohl dieses Proof of Concept als grundlegende Implementierung in einer kontrollierten Umgebung konzipiert wurde, sollen künftige Arbeiten die Robustheit des Systems unter erschwerten Sichtbedingungen weiter optimieren. Insbesondere ist die Gewährleistung der Echtzeit-Skalierbarkeit von zentraler Bedeutung, um den Einsatz in Maschinenräumen auf großen Kreuzfahrtschiffen zu ermöglichen. Die aktuell genutzte Kartendarstellung ist ausreichend für einen Proof of Concept, müsste aber für eine konkrete Anwendung mehr Funktionalitäten bieten und entsprechend erweitert werden. So könnte auch ausgegeben werden, wann die letzte Person durch einen Bereich gegangen ist, oder die Anzahl der Personen pro Zeiteinheit pro Bereich.

Im Rahmen des Proof of Concept wurde exemplarisch YOLOv8 verwendet, da dieses Modell eine einfache Implementierung ermöglicht und der definierten Zielsetzung sowie den technischen Anforderungen entspricht. Der Fokus lag hierbei auf der Entwicklung einer robusten, effizienten und leicht integrierbaren Lösung. Grundsätzlich können jedoch auch alternative KI-Modelle verwendet werden, abhängig von den spezifischen Anwendungsanforderungen. Hierzu zählen beispielsweise Faster R-CNN (Region-Based Convolutional Neural Network) und SSD (Single Shot Detector), die

häufig mit YOLO verglichen werden und ebenfalls für Aufgaben der Objekterkennung geeignet sind [8], [9], [10].

Darüber hinaus wäre der Einsatz von Infrarotkameras als eine weitere Option denkbar, um die Objekterkennung bei schlechten Lichtverhältnissen weiter zu verbessern. Zusätzlich kann das System erweitert und angepasst werden, um es für komplexere industrielle Anwendungen nutzbar zu machen.

Wie in Kapitel 2.1 "Systemarchitektur" bereits erwähnt, sind die Daten in einer JSON-Datei gespeichert. Zukünftig könnten die Daten stattdessen in einer Datenbank, wie SQL oder MongoDB, gespeichert werden. Dies würde die langfristige Speicherung der Daten ermöglichen.

## 5. Fazit

Der Proof of Concept zeigt, dass eine kosteneffektive, echtzeitfähige Personenüberwachung mittels mehrerer modularer Kamerasysteme und einer entsprechenden Serverinfrastruktur umsetzbar ist. Das System kann flexibel an die bestehende Architektur angepasst werden, um eine möglichst umfassende Überwachung zu gewährleisten.

Ein Hauptvorteil des Systems ist die Nutzung bestehender Kamerahardware, sodass in Kombination mit zusätzlichen Kameras auch bisher nicht erfasste tote Winkel abgedeckt werden können. Von Grund auf wurde das System für den Einsatz auf großen Kreuzfahrtschiffen konzipiert. Es bietet jedoch auch das Potenzial, in andere ähnliche Architekturen eingesetzt zu werden, darunter Produktionsanlagen, Schulen, Hotels und Fabriken.

Durch die präzise Echtzeitverfolgung stellt dieses System einen bedeutenden Fortschritt für die Sicherheitsüberwachung dar und trägt wesentlich dazu bei, die Sicherheitsstandards für Mitarbeiter und Personal zu erhöhen. Ein besonders wichtiger Aspekt ist die Erstellung von Karten-Systemen mit Kameras. Das hier gezeigte Konzept eignet sich jedoch nicht für große Freiflächen oder Außenbereiche, da die Erstellung einer zuverlässigen Karte in solchen Umgebungen herausfordernd ist.

## Data availability statement

The data generated and the results of this Proof of Concept are not publicly available. However, for information regarding the accuracy of the person detection, reference can be made to the relevant YOLO papers, such as those detailing YOLOv8's performance and application in similar contexts.

## Author contributions

- Shaunak Atul Kanikar: Conceptualization, Data curation, Writing Lecturing
- Nina Bakalova: Writing, Visualization, Lecturing
- Steven Behm: Formal analysis, Writing,
- Benjamin Hohnhäuser: Project administration, Supervision

## Competing interests

The authors declare that they have no competing interests.

## References

- [1] A. Roger, "A review of modern surveillance techniques and their presence in our society", *arXiv preprint arXiv:2210.09002*, 2022.
- [2] M. Romanchuk, "Biometrische videoüberwachung durch künstliche intelligenz: Zulässigkeit, grenzen und risiken: Legitimacy, limits and risks/vorgelegt von maryna romanchuk",
- [3] Berrybase. "Raspberry pi high quality kamera". Zugriff am: 2025-01-30. [Online]. Available: <https://www.berrybase.de/raspberry-pi-high-quality-kamera>.
- [4] Berrybase. "Raspberry pi high quality kamera". Zugriff am: 2025-01-30. [Online]. Available: <https://www.berrybase.de/raspberry-pi-5-8gb-ram>.
- [5] Matplotlib, *Matplotlib: Open source 2d plotting library in python*, Accessed: 2025-01-27, 2023. [Online]. Available: <https://matplotlib.org>.
- [6] OpenCV, *Opencv: Open source computer vision library*, Accessed: 2025-01-27, 2023. [Online]. Available: <https://opencv.org/>.
- [7] Ultralytics, *Introducing ultralytics yolov8*, Zugriff am 13. Februar 2025, 2025. [Online]. Available: <https://www.ultralytics.com/de/blog/introducing-ultralytics-yolov8>.
- [8] K. Akshatha, A. K. Karunakar, S. B. Shenoy, A. K. Pai, N. H. Nagaraj, and S. S. Rohatgi, "Human detection in aerial thermal images using faster r-cnn and ssd algorithms", *Electronics*, vol. 11, no. 7, p. 1151, 2022.
- [9] N. Bilous, V. Malko, M. Frohme, and A. Nechyporenko, "Comparison of cnn-based architectures for detection of different object classes", *AI*, vol. 5, no. 4, pp. 2300–2320, 2024.
- [10] S. M. Alkentar, B. Alsahwa, A. Assalem, and D. Karakolla, "Practical comparison of the accuracy and speed of yolo, ssd and faster rcnn for drone detection", *Journal of Engineering*, vol. 27, no. 8, pp. 19–31, 2021.