

## Zusammenfassung der wissenschaftlichen Ergebnisse des Projekts SensAR

---

Arbeitspaket: Alle, sowie AP 1 im Speziellen

Es konnten unterschiedliche Use Cases identifiziert und bearbeitet werden, die eine Bandbreite technologischer Anforderungen abdecken: Objekte und Sensoren von stationär bis zu mobil, benötigte Displaytechnologie von konventionell bis AR. Die vier Use Cases sind RFID-Kammer, Fabriklayout, Ladungsträger und E-Bike. Je nach konkreter Fragestellung in den durchgeführten Arbeiten untergliedern sich die Use Cases weiter, z.B. beinhaltet der Use Case RFID-Kammer zwei untergeordnete Use Cases Bedienung und Navigation. Für diese Use Cases konnten technologieübergreifende Prototypen implementiert und evaluiert werden. Durch die durchgeführten Transferveranstaltungen konnte Feedback von außen eingeholt werden. Dieses bestätigte den prototypischen Charakter der Use Cases, zeigte aber auch auf, dass gerade in der Industrie sehr konkrete Fragestellungen auftreten, die eine jeweils konkret abgestimmte Implementation erfordern.

---

Arbeitspaket: AP 2

Die Arbeiten gliederten sich zeitlich zwar entlang der Unterarbeitspakete AP2.1 und 2.2, inhaltlich aber entlang der zwei Bilderfassungsmethoden „Laserscan“ (hier AP2a genannt) und „Photogrammetrie“ (AP2b). Die Darstellung der Ergebnisse hier bezieht sich auf diese inhaltliche Unterteilung.

AP 2a „Laserscan“: Ziel ist die Erkennung von Objekten und deren Umgebung in Laserscan-Punktwolken am Use Case der Ladungsträger (Gitterboxen) in einer Fabrikhalle. Vom Projektpartner Daimler / Mercedes Benz wurden zwei Ladungsträger als auch Punktwolkenscans von Fabrikhallen bereitgestellt. Für den ersten Schritt der Objekterkennung, die semantische Segmentierung, wurden zwei verschiedene neuronale Netze erprobt: PointNet und RandLA-Net. Bei Verwendung der Point Net Netzarchitektur wurden zwar einige Punkte fehlerhaft als Ladungsträger erkannt; es wurde aber auch jeder tatsächlich vorhandene Ladungsträger erkannt. Dabei wurden bessere Ergebnisse erzielt, wenn die Lagerhalle kubikmeterweise für das Training aufgeteilt wird als wenn mit einer größeren Aufteilung der Lagerhalle gearbeitet wird. Positive Ergebnisse wurden auch mit RandLA-Net erreicht. Ein direkter Vergleich der beiden Netzarchitekturen ist zwar nicht möglich, da die Testdatensätze speziell auf die jeweiligen Netzwerkarchitekturen angepasst sind. Der gezeigte erfolgreiche Einsatz beider Netzarchitekturen bekräftigt jedoch, dass mittels neuronaler Netze eine semantische Segmentierung von Fabrikhallen anhand von Laserscan-Punktwolken möglich ist.

AP 2b „Photogrammetrie“: In AP 2a wurde eine vollständige Aufnahme der Industriehalle mit einem stationären Laserscanner erstellt. In AP 2b ging es um die Verdichtung und Aufnahme kleiner Bereiche der Industriehalle zur Detektion von Veränderungen, um einen kontinuierlichen aktuellen Stand für die Fabrikplanung zu haben. Für die Aufnahme wurde Photogrammetrie verwendet, da so auch im laufenden Betrieb einfach Teilbereiche von

## Zusammenfassung der wissenschaftlichen Ergebnisse des Projekts SensAR

Industriehallen aufgenommen werden können. Zur Untersuchung der Bilder wurde das Neuronale Netz DeepLabv3+ verwendet, mit dem der Ladungsträger pixelgenau in den Bildern segmentiert wurde. Die Segmentierungsergebnisse sind meist gut, insbesondere wenn der Ladungsträger im Fokus der Aufnahme steht. Sobald allerdings der Ladungsträger in den Hintergrund rutscht, also eher klein oder halb verdeckt ist, werden die Ergebnisse schlechter. Da die Ergebnisse abhängig von der Qualität der generierten Punktwolke, der Qualität der segmentierten Bilder und der errechneten Ausrichtung der Kameras ist, konnte durch den Einsatz von Bildbearbeitung die Segmentierung weiter verbessert werden.

Die Zusammenführung der photogrammetrischen Punktwolke (AP 2b) mit der Laserscanpunktwolke (AP2a) wurde ebenfalls untersucht. Dabei hat sich gezeigt, dass das für diesen Zweck verwendete zusätzliche Neuronale Netz gelernt hat, die Punktwolken generell anzupassen.

Neben der Objekterkennung für das Fabriklayout und den Ladungsträgern wurde ein weiteres Neuronales Netz (mobileNetv2) für die Objekterkennung der RFID-Messkammer trainiert (vgl. AP 4 und AP 5), welche für die dortige Visualisierung die Grundlage zur Verortung der Messkammer im Kamerabild schufen.

---

Arbeitspaket: AP 3

Es konnte die Positionsbestimmungs- und Trackingkomponente für eine Smartphone basierte Wegeführung zur RFID-Messkammer als Beispiel für ein typisches Industrie Maintenance Szenario realisiert werden. Das Tracking wurde unter Verwendung von Android ARCore und Unity NavMesh implementiert. ARCore wird mit einer Anfangsposition versorgt und ist in der Lage, die Position durch Koppelnavigation mit IMU-Daten (Inertial Measurement Unit) und Kamerainformationen des Smartphones zu verfolgen.

Die IMU-Daten bestehen aus den Sensorinformationen des Beschleunigungsmessers, Magnetometers und Gyroskops des Smartphones. Durch die Kombination dieser Daten mit den Kamerainformationen ist ARCore in der Lage, die Position und Haltung des Telefons mit einer SLAM-Methode (Simultaneous Localization and Mapping) zu verfolgen, ohne dass Referenzbilder bereitgestellt werden müssen. Dies wird auch als "Visual Odometry" bezeichnet. Die Navigation wird von Unity NavMesh bereitgestellt. Hierfür wurden Grundrisse erstellt und bereitgestellt.

Die IMU- und Kamerabasierte Navigation benötigt eine Anfangsposition, um mit der Integration zu beginnen. Diese kann durch die Aufnahme von Referenzbildern und die Durchführung einer Bilderkennung ermittelt werden. Da sich die Umgebung jedoch ändern kann und die Pflege der Datenbank einen gewissen organisatorischen Aufwand erfordert, wurde eine andere Lösung entwickelt: Eine grobe Anfangsposition wird durch die

---

## Zusammenfassung der wissenschaftlichen Ergebnisse des Projekts SensAR

Erkennung von Bluetooth-Bakensignalen ermittelt. Eine Positionsschätzung wird mit Hilfe der gewichteten Zentroid-Methode durchgeführt. Die erzielte Anfangsgenauigkeit liegt typischerweise innerhalb weniger Meter, und verbessert sich während der Bewegung.

Wissenschaftlich konnte gezeigt werden, dass die eingesetzten Technologien Bluetooth, Barometrische Höhenbestimmung mit Smartphone-Sensoren und Dead Reckoning mit Visual Odometry auf einem Smartphone eingesetzt und relevante Industrie-Szenarien damit umgesetzt werden können. Für die Berechnung des kürzesten Weges wurde die NavMesh Datenstruktur in Unity verwendet. Die so erreichte Indoor-Navigation wurde auch positiv von Nutzer:innen erfahren, wie die Studie von AP 5 zeigte.

---

Arbeitspaket: AP 4

AP 4.1: Eine Auswertung aktueller industrieller Standards und künftiger Entwicklungen in diesem Bereich durchgeführt (siehe Publikation Jensen2020) zeigt, dass branchenspezifisch unterschiedliche Kommunikationsprotokolle eingesetzt werden, es aber auch Protokolle gibt, die sich in den beiden Bereichen Smart Home und Industrie sehr gut durchsetzen konnten. Diese sind vermehrt Protokolle mit einer besonders energieeffizienten Übertragung oder niedriger Übertragungsbandbreite, wie z.B. dem Message Queuing Telemetry Transport (MQTT).

AP 4.2: Um zu ermitteln, wie Daten mit Raumbezug zusammen mit IoT-Anwendungen genutzt werden können, wurden verschiedene mobile und stationäre Ortungssensoren in zwei unterschiedlichen Use-Cases betrachtet. Ziel war es verschiedenen Quellen für Sensordaten miteinander und mit der Position im Raum zu verknüpfen und diese Daten für andere Systeme bereitzustellen. MQTT wurde als eine weitreichend akzeptierte IoT-Technologie identifiziert und somit für die Umsetzung der Prototypen in den einzelnen Arbeitspaketen eingesetzt.

AP 4.3: Die Vielseitigkeit des Protokolls erlaubt einen einfachen Datenaustausch und bot die Möglichkeit im Projekt erzeugte Daten den anderen Teilprojekten und Projekten mit Raumbezug zur Verfügung zu stellen. So wurde es möglich dem „sensorischen Bedürfnis“ der Anwender durch einen räumlichen Kontextbezug zu begegnen.

AP 4.4: Die prototypische Umsetzung erfolgte für die drei Use-Cases Ladungsträgererkennung (vgl. AP2), Echtzeitortungssystem (vgl. AP3) und RFID-Messkammer (vgl. AP5).

---

Arbeitspaket: AP 5

Anhand von drei Use Cases (E-Bike-Ladestands-App, Hilfe-App für die Bedienung einer RFID-Messkammer, App zur Indoor-Navigation) wurde untersucht, welcher Einsatz von welchen UI-Elementen in welchen Szenarien sinnvoll ist, sodass eine geeignete Visualisierung (AP 5.1) und AR User Interface (AP 5.2) implementiert werden kann. Der Prototyp zum ersten Use Case zeigte, dass, sobald das E-Bike von der Smartphone

---

## Zusammenfassung der wissenschaftlichen Ergebnisse des Projekts SensAR

Kamera erfasst wird, eine an das Fahrrad fixierte grafische Überblendung möglich ist, welche den Akkuladestand anzeigt. Auf technischer Ebene bedeutet dies ein erfolgreiches Verknüpfen der Komponenten Image Target Recognition (mittels Vuforia), AR Darstellung (mittels Unity) und Sensorabfrage (mittels SensorThings API).

Im zweiten Use Case führt der entwickelte Prototyp eine:n Nutzer:in durch die einzelnen Schritte eines Messversuchs mittels der RFID-Messkammer und visualisiert zudem auch die Messergebnisse. Um dieses zu ermöglichen, wurden folgende Komponenten erfolgreich miteinander verknüpft: Positionsberechnung, UI und Speicherung der virtuellen Objekte (mittels Unity), Sprachsteuerung (mittels Android Spracherkennung), Objekterkennung in der Messkammer (mittels Neuronalem Netz TensorFlow Lite, gemeinsame Entwicklung mit AP 2), Auslesen der Daten aus der Messkammer (mittels MQTT, implementiert durch AP 4). Im dritten Use Case wurde eine App mit User Interface für die Indoor-Navigation (siehe AP 3) erstellt, mittels welcher ein:e Nutzer:in durch das Gebäude zur RFID-Messkammer geführt wird. Auch hier konnten die dafür technologischen Komponenten erfolgreich verknüpft werden: Navigationsapp in Unity unter Verwendung von NavMesh, einer Datenstruktur in Unity, die Wegfindung durch Räume ermöglicht, sowie Auslesen der Sensorinformation von BlueTooth Beacons (AP 3) mittels MQTT (AP 4). Für diesen Use Case wurde auch die geplante Nutzerstudie durchgeführt, in welcher Feedback zum User Interface Design und zur Bedienbarkeit eingeholt wurde. Dabei zeigte sich, dass eingeblendete Pfeile auf dem Boden als UI Element am besten bewertet wurden und dass im Allgemeinen die Probanden mit der Qualität der Navigation und der Bedienbarkeit (mit einem Median von 8 auf einer 10 Punkteskala) sehr zufrieden sind.

---

Arbeitspaket: AP 6

In AP6 wurden unterschiedliche Leistungsvergleiche symmetrischer Verschlüsselungsverfahren sowohl mit unterschiedlichen Softwarebibliotheken als auch auf verschiedener IoT-Hardware durchgeführt. Dadurch konnten aussagekräftige Ergebnisse in mehrfacher Hinsicht erzielt werden: a) die Geschwindigkeit und der Batterieverbrauch in Abhängigkeit der kryptographischen Schlüssellänge und der konkret eingesetzten Hardware wurden detailliert ermittelt; b) Empfehlungen hinsichtlich der Auswahl der einzusetzenden Softwarebibliothek wurden herausgearbeitet.

Außerdem konnten mehrere fortgeschrittene asymmetrische Verfahren (z.B. homomorphe Verschlüsselung oder Identity-based Encryption) auf einem IoT-Betriebssystem prototypisch implementiert, getestet und gemessen werden. Dadurch konnte der höhere Zeitverbrauch für diese Verfahren im Vergleich zu herkömmlichen asymmetrischen Verschlüsselungsverfahren genau quantifiziert werden (z.B. ist Identity-based Encryption um den Faktor 100 langsamer als klassische RSA-Verschlüsselung).

---

## Zusammenfassung der wissenschaftlichen Ergebnisse des Projekts SensAR

Die Implementierungen für die beschriebenen Messungen und Experimente wurde als Open-Source Code veröffentlicht und somit der Allgemeinheit als Ergebnis von SensAR zur Verfügung gestellt. Zusätzlich wurde der entwickelte Code auch in der Lehre im Rahmen einer IoT-Lerneinheit eingesetzt, bei dem die Studierenden das Durchführen wissenschaftlicher Experimente mit Verschlüsselungsverfahren auf IoT-Hardware lernen sollen.

---