

Sachbericht zum Verwendungsnachweis

Teil I-II

Teilvorhaben im Verbundprojekt

Open-RAN basiertes Campusnetz für industrielle Echtzeitanwendungen
– 6G-Terafactory –

Teilprojekt

Virtualisierte Steuerungs- und Assistenzfunktionen

In der Bekanntmachung:

Souverän.Digital.Vernetzt

Autoren

Thomas Staufenbiel und Ingo Schröder,
Gestalt Robotics GmbH, Schlesische Str. 26, 10997 Berlin,
schroeder@gestalt-robotics.com

Projektlaufzeit: 15.10.2022 – 01.01.2024

Förderkennzeichen: 16KISK188

Erstellungsdatum: 11.11.2024

Projektpartner

ADTRAN Networks SE	98617 Meiningen
Metralabs GmbH – Neue Technologien und Systeme	98693 Ilmenau
Hochschule Schmalkalden	98574 Schmalkalden
Deutsches Forschungszentrum für Künstliche Intelligenz GmbH	67663 Kaiserslautern

Das diesem Bericht zugrunde liegende Vorhaben wurde mit Mitteln des Bundesministeriums für Bildung und Forschung (BMBF) gefördert. Die Verantwortung für den Inhalt der Veröffentlichung liegt bei der Autorin / beim Autor.

GEFÖRDERT VOM



Bundesministerium
für Bildung
und Forschung

Inhaltsverzeichnis

I. Teil I Kurzbericht	3
I.1 Projektzusammenfassung.....	3
I.2 Wissenschaftlicher und technischer Stand zu Beginn des Vorhabens.....	3
I.3 Wesentliche Ergebnisse im Überblick.....	4
II. Teil II Eingehende Darstellung	5
II.1 Wichtigste Positionen des zahlenmäßigen Nachweises.....	5
II.2 Notwendigkeit und Angemessenheit der geleisteten Projektarbeiten.....	5
II.3 Ergebnis, Voraussichtlicher Nutzen und Verwertbarkeit des Ergebnisses ...	6
II.4 Fortschritt auf dem Gebiet des Vorhabens bei anderen Stellen	13
II.5 Veröffentlichungen des Ergebnisses	13

I. Teil I Kurzbericht

I.1 Projektzusammenfassung

Das Projekt **6G-Terafactory** untersucht innovative Technologien für 6G-Campusnetze im praktischen Einsatz. Basierend auf einem Open-RAN-Ansatz und modernsten Softwarepraktiken wird eine Blaupause entwickelt, wie Campusnetze zunächst einfach aufgebaut und anschließend zuverlässig betrieben werden können. Ähnlich einem firmeninternen WLAN-Netzwerk liegt der Fokus in **6G-Terafactory** auf einer privaten Campusnetz-Installation, die maximale Flexibilität bei der Konfiguration und den Leistungsmerkmalen bietet und gleichzeitig benutzerfreundlich bleibt.

Im Rahmen einer globalen Initiative zur Rückverlagerung der Produktionskapazitäten von Asien nach Europa hat ADTRAN kürzlich eine neue, 4.000 m² große Fabrik in Meiningen (die **Terafactory**) eröffnet. Dort wird die neueste robotergestützte Fertigungstechnik zur Produktion von Netzwerkgeräten eingesetzt. Im Einklang mit der 6G-Vision, die die Vernetzung der digitalen, physischen und menschlichen Welt anstrebt, verfolgt die **6G-Terafactory** das Ziel, einen digitalen Zwilling der Fabrik zu erstellen. Dies soll dazu beitragen, kostenintensive Arbeitsabläufe zu optimieren und die Zusammenarbeit zwischen Mitarbeitern und Maschinen zu verbessern.

Zu diesem Zweck wird ein Campusnetzwerk aufgebaut, in dem verschiedene Anwendungen unabhängig voneinander in separaten Netzwerk-Slices betrieben werden können. Dazu zählen die Echtzeit-Warenverfolgung, die Optimierung des Warenflusses durch zentral gesteuerte, automatische Flurförderfahrzeuge sowie XR-gestützte Unterstützung für die Mitarbeiter.

I.2 Wissenschaftlicher und technischer Stand zu Beginn des Vorhabens

Das Teilvorhaben der Gestalt Robotics („Virtualisierte Steuerungs- und Assistenzfunktionen“) fokussiert sich auf folgende Anwendungsbereiche:

a) Autonome Roboter und Digital Twin

Ware wird heute manuell in Kisten, Wagen oder Maschinen bewegt. Dies geschieht sowohl innerhalb eines Logistikgebäudes als auch zwischen Gebäuden auf dem Werksgelände. Dies betrifft alle Fahrstationen, also Wareneingang, den Produktions- und Versandbereich und das Verfahren von Ware zwischen Gebäuden. Dies soll durch autonome Fahrzeuge stark verbessert werden. Diese müssen verschiedene Ladungsträger bewegen können. Alternativ müssen erlaubte Ladungsträger definiert werden.

Die entsprechenden Funktionen standen bereits bei der Gestalt Robotics GmbH als modularer Software-Stack zur Verfügung und sind gemäß eines verteilten Ansatzes zu virtualisieren und auf lokale Serverinfrastruktur zu verteilen. Dieser Offloading-Ansatz schließt die Auslagerung von echtzeitkritischen (Navigations-)Services mit ein. Die Mehrwert KI-Funktionen dienen primär einem erweiterten Umgebungsverstehen durch semantische Funktionen mit deren Hilfe nach dem Vorbild eines Digitalen

Zwillings eine digitale Repräsentation der Umgebung erstellt wird. Ferner wird die Auslagerung von Sicherheitsfunktionen über den 6G-Netzwerkansatz betrachtet

b) Augmented Reality (AR) als Unterstützung der Mitarbeiter

Heute geschehen wesentliche Prozesse in der Logistik insbesondere im Warenein- und Ausgang noch manuell. Dabei ist das Geschäftsverlauf beim Anwendungspartner ADTRAN innerhalb eines Quartals stark schwankend. Monate mit niedrigen Auslieferungszahlen werden gefolgt von Monaten mit hohem Output. Gekoppelt mit einer hohen Varianz innerhalb der Lieferung, stellt dies den Warenausgang vor starken Herausforderungen. Um die Qualität im Warenausgang zu erhöhen und die Belastung der Mitarbeiter zu senken, sollen diese durch den Einsatz einer stationären AR-Lösung unterstützt werden.

Bei der spezifischen Umsetzung von AR-basierter Werkerassistenz im Projekt wird technologisch ein ähnlicher Virtualisierungsansatz wie im Anwendungsfeld der mobilen Robotik gewählt. Grundlegende KI-basierte Funktionen werden modularisiert und über das Netzwerk skalierbar bereitgestellt. Mit Hilfe einer Hardwareabstraktion lassen sich Assistenzszenarien nahtlos und unabhängig von der spezifischen Arbeitsumgebung und Betrieb nehmen und unabhängig von der spezifischen AR-Technologie skalieren. Zur Bereitstellung konkreter Arbeitsanweisungen sowie Rückführung von Arbeitsergebnissen dient wieder die Anbindungen eines Digitalen Zwillings.

I.3 Wesentliche Ergebnisse im Überblick

Im Sachbericht wird festgehalten, dass das Projekt Fortschritte macht, es jedoch aufgrund der Insolvenz der Gestalt Robotics zu Verzögerungen gekommen ist. Zuvor wurde an den neuen Anwendungen gearbeitet, speziell in Zusammenarbeit mit Adtran im Bereich der Werkerassistenz, um die technischen Anforderungen weiter zu spezifizieren und erste Umsetzungsvorschläge zu unterbreiten. Die bisherigen Entwicklungen konzentrierten sich auf die Integration der Werkerassistenz in den bestehenden Logistikprozess und die Optimierung für den Einsatz im 5G OpenRAN Netz, um die Flexibilität und Anpassungsfähigkeit der Systeme zu erhöhen.

Bislang existiert das Werkerassistenzsystem als virtuelle Konstruktion. Die Benutzerschnittstelle in Form einer grafischen Oberfläche wurde bereits implementiert und steht als Softwareprototyp zur Verfügung. Außerdem wurden den potentiellen Anwendern bereits UI Prototypen vorgestellt und durch diese bewertet. Der nächste entscheidende Schritt im Projektverbund ist die Entscheidung, ob die physische Konstruktion der Werkerassistenz den erforderlichen zusätzlichen Nutzen für das Projekt erbringen kann.

Im Bereich der autonomen Roboter wurde das bereits bestehende Netzwerkcharakterisierungsframework der Gestalt Robotics an die Bedürfnisse der 6G-Terafactory angepasst. Im nächsten Schritt sollen erste Charakterisierungen durchgeführt und die Performancewerte des Netzes aufgenommen und in Form einer Heatmap dargestellt werden.

II. Teil II Eingehende Darstellung

6G-Terafactory entwickelt eine flexible und offene RAN-Lösung für digitale Fabriken, die „out-of-the box“ funktioniert und aufgrund eines innovativen Automatisierungsansatzes von einer internen IT-Organisation wie ein firmeneigenes Wifi-Netzwerk betrieben werden kann. Der 6G-Vision folgend, wurden hierfür praktische Anwendungsfälle von Gestalt Robotics untersucht, in denen die Vernetzung der digitalen, physikalischen und menschlichen Welt besondere Vorteile versprechen und in denen die Netzperformance eine kritische Rolle spielt. Basierend auf einem digitalen Zwilling der Fabrik sollen autonome Roboter, sowie durch AR unterstützte Mitarbeiter so miteinander vernetzt werden, dass kundenspezifische Produkte weitgehend automatisiert bereitgestellt werden können.

II.1 Wichtigste Positionen des zahlenmäßigen Nachweises

Die ursprüngliche Kostenplanung bleibt unverändert, obwohl es Zeitverzögerungen gab. Es wurden keine Mittelverschiebungen vorgenommen, die nicht dokumentiert wurden. Die finanzielle Umsetzung entspricht im Großen und Ganzen der Planung.

Die wichtigsten Positionen des zahlenmäßigen Nachweises sind in absteigender Reihenfolge: Personalkosten sowie FE-Fremdleistungen. Die Personalkosten werden im nächsten Abschnitt über die Notwendigkeit und Angemessenheit der geleisteten Projektarbeiten offensichtlich.

II.2 Notwendigkeit und Angemessenheit der geleisteten Projektarbeiten

Durch eine Analyse des Stands der Technik zu Beginn des Projekts lässt sich die Notwendigkeit und Angemessenheit der bisher geleisteten Arbeiten klar nachvollziehen. Angesichts der hohen Fachkompetenz der am Projekt beteiligten Partner und des klar strukturierten Projektplans werden die Chancen, die Projektziele erfolgreich zu erreichen, als sehr hoch eingeschätzt. Dennoch weist der Projektplan einige erhebliche technische und wirtschaftliche Risiken auf, die eine Förderung des Vorhabens notwendig machen.

Technische Risiken:

1. **Verfügbarkeit der Open-RAN-Software:** Es besteht das Risiko, dass die Open-RAN-Software nicht in der erforderlichen Qualität zur Verfügung steht, um den Projektanforderungen gerecht zu werden.
2. **Fehlende Leistungsmerkmale:** Wichtige Leistungsmerkmale, insbesondere in Bezug auf die Anwendungen der Robotik und Augmented Reality (AR), könnten entweder fehlen oder nicht die nötigen Spezifikationen erfüllen.
3. **Inkompatibilitäten zwischen Komponenten:** Inkompatibilitäten zwischen den verschiedenen Komponenten der unterschiedlichen Hersteller könnten die Integration erschweren oder verhindern.

Wirtschaftliche Risiken:

4. **Kosten der Open-RAN-Lösung:** Es könnte sein, dass die Open-RAN-Lösung preislich nicht wettbewerbsfähig ist, was die Rentabilität des Projekts gefährden würde.
5. **Vergleich zu Enterprise-Wifi:** Die Vorteile einer privaten RAN-Lösung im Vergleich zu einer Enterprise-Wifi-Lösung könnten möglicherweise nicht groß genug sein, um die höheren Kosten und den zusätzlichen Aufwand zu rechtfertigen.
6. **Komplexität von Installation und Betrieb:** Trotz der Unterstützung durch Automatisierung könnte die Komplexität bei der Installation und dem Betrieb der Lösung weiterhin zu hoch sein und zusätzliche Ressourcen oder Anpassungen erfordern.

II.3 Ergebnis, Voraussichtlicher Nutzen und Verwertbarkeit des Ergebnisses

Das Ziel des Projekts ist die Entwicklung virtualisierter Steuerungs- und Assistenzfunktionen, die einen erheblichen Nutzen bieten. Dieses System kann die Automatisierung in der Produktion von Netzwerkinfrastrukturkomponenten bei ADTRAN und in weiteren industriellen Anwendungen deutlich verbessern. Für die zukünftige Nutzung der Projektergebnisse gibt es bereits konkrete Pläne, etwa durch Lizenzvergaben und die Integration in bestehende Systeme.

Die Umsetzung des Projektziels wurde entscheidend durch die Gestalt Robotics GmbH unterstützt, insbesondere durch die im Folgenden beschriebenen Ergebnisse.

Identifikation eines Arbeitsprozesses zur Anwendung der AR-gestützten Werkerassistenz

Die Produkte des Anwendungspartners zeichnen sich durch eine hohe Flexibilität und Anpassbarkeit aus, sodass sie auf die individuellen Bedürfnisse der Kunden abgestimmt werden können. Dies führt zu einer breiten Vielfalt an Produkten, die für den Versand vorbereitet und ausgeliefert werden müssen. Diese Variabilität stellt insbesondere für den Warenausgang eine große Herausforderung dar. Die Auslieferungszahlen schwanken erheblich, sodass die Aufträge meist chargenweise bearbeitet werden müssen.

Diese Schwankungen wirken sich auch auf den Personalbedarf aus: Die Zahl der benötigten Mitarbeitenden variiert entsprechend der Auslastung und den täglichen Anforderungen. Im Verpackungsprozess führt die Individualität der Produkte dazu, dass jede Lieferung durch spezifische Stücklisten bestimmt wird, die die Zusammensetzung der einzelnen Pakete detailliert festlegen. Daher ist es essenziell, dass das Personal in der Lage ist, sich rasch an unterschiedliche Aufgaben anzupassen und flexibel auf wechselnde Anforderungen zu reagieren.

Die hohe Variabilität und Komplexität des Verpackungsprozesses erhöht zudem das Risiko von Fehlern bei der Zusammenstellung der Einzelpakete. Jede Abweichung kann zu Verzögerungen und Unzufriedenheit bei den Kunden führen, was den Arbeitsprozess insgesamt belastet.

Um den genannten Herausforderungen zu begegnen, sollten bestimmte Anforderungen an das geplante Assistenzsystem gestellt werden:

- a) **Unterstützung in Zeiten hoher Auslastung:** Das Assistenzsystem sollte in Phasen hoher Arbeitsbelastung als Hilfestellung für die Mitarbeitenden fungieren. Insbesondere bei hohem Auftragsvolumen kann es wertvolle Unterstützung leisten, um Fehler zu reduzieren und den Prozess effizienter zu gestalten.
- b) **Flexible Einsatzmöglichkeiten:** Da die Arbeitsabläufe im Warenausgang nicht an einen festen Standort gebunden sind, sollte das System ortsunabhängig und mobil einsetzbar sein, sodass es an verschiedenen Stellen des Arbeitsprozesses genutzt werden kann.
- c) **Platzsparendes Design:** In einem Arbeitsumfeld, das oft durch wenig verfügbare Fläche geprägt ist, sollte das System kompakt und platzsparend gestaltet sein, um die Bewegungsfreiheit der Mitarbeitenden nicht zu beeinträchtigen.
- d) **Einfache Bedienbarkeit:** Eine intuitive Bedienung ist essenziell, damit das System von den Mitarbeitenden ohne langen Einarbeitungsaufwand genutzt werden kann. Dies erhöht die Akzeptanz und sorgt dafür, dass das System auch in stressigen Situationen zuverlässig eingesetzt wird.
- e) **Zuverlässigkeit im Einsatz:** Die Unterstützung durch das Assistenzsystem muss absolut zuverlässig und reibungslos funktionieren, um die Arbeit tatsächlich zu erleichtern und nicht zusätzlichen Aufwand zu erzeugen.
- f) **Robuste Erkennung der Arbeitsschritte:** Da der Warenausgang je nach Tageszeit und Umgebungsfaktoren unterschiedlich beleuchtet sein kann, muss das System in der Lage sein, Arbeitsschritte auch unter variierenden Lichtverhältnissen sicher und präzise zu erkennen und entsprechend zu reagieren.

Diese Anforderungen stellen sicher, dass das Assistenzsystem eine sinnvolle Ergänzung im Verpackungs- und Versandprozess darstellt und dazu beiträgt, die Effizienz und Qualität der Arbeit nachhaltig zu verbessern.

Machbarkeitsanalyse zur Erkennung der Arbeitsschritte

Die präzise Erkennung der einzelnen Arbeitsschritte ist für die korrekte Abarbeitung der Packliste von entscheidender Bedeutung. Da das System ortsflexibel eingesetzt wird, unterliegt es jedoch schwankenden Lichtverhältnissen, was den Einsatz klassischer Bilderkennungsalgorithmen erschwert und deren Zuverlässigkeit beeinträchtigen kann.

Zusätzlich erfordert das Projekt ein hohes Maß an Flexibilität und die Möglichkeit, das System bei Bedarf anzupassen oder weiterzuentwickeln. Diese Anforderungen machen den Einsatz von KI-Algorithmen unverzichtbar. Aus diesem Grund wurde eine Verifizierung mit modernen, KI-basierten Detektionsalgorithmen durchgeführt.

Die Ergebnisse zeigten, dass diese Algorithmen eine zuverlässige und schrittweise Erkennung der erforderlichen Arbeitsschritte ermöglichen. Ein beispielhaftes Ergebnis ist in Abbildung 1 dargestellt.



Abbildung 1: Beispielhaftes Ergebnis der Arbeitsschritterkennung

Erarbeitung einer Softwarearchitektur

Basierend auf den oben beschriebenen Anforderungen und den allgemeinen Prinzipien des Projekts, das eine hohe Modularisierung und Verteilung der Services anstrebt, wurde unter Berücksichtigung der Ergebnisse der Machbarkeitsanalysen eine Systemarchitektur entwickelt. Diese ist in der folgenden Darstellung dargestellt:

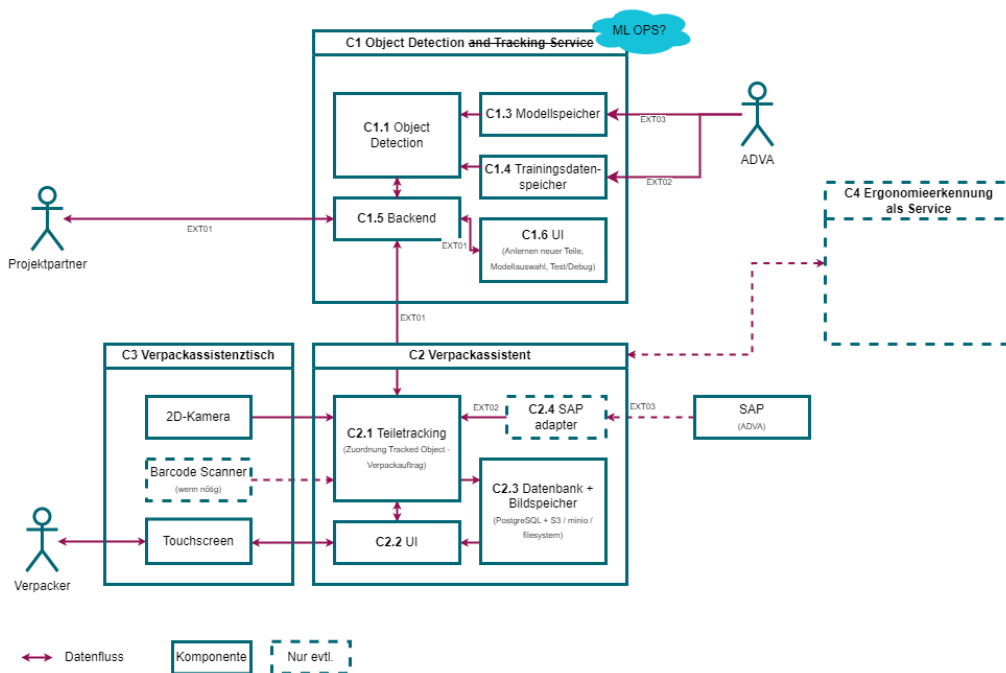


Abbildung 2: Softwarearchitektur des Werkerassistenzsystems

Abbildung 2 zeigt die Architektur eines Systems zur Unterstützung von Verpackungsprozessen durch die Kombination verschiedener Komponenten zur Objekterkennung, Verfolgung und Assistenz. Es gliedert sich in vier Hauptmodule (C1 bis C4), die jeweils unterschiedliche Funktionen und Komponenten enthalten.

1. **Modul C1: Object Detection and Tracking Service**

Dieser Bereich ist für die Objekterkennung und -verfolgung verantwortlich. Die **C1.1 Object Detection**-Komponente übernimmt die Objekterkennung. Die Ergebnisse werden über ein **Backend (C1.5)** an andere Module weitergeleitet. Ein **Modellspeicher (C1.3)** enthält die notwendigen KI-Modelle, und ein **Trainingsdatenspeicher (C1.4)** dient zur Speicherung von Trainingsdaten für die KI-Algorithmen. Über eine **Benutzeroberfläche (UI, C1.6)** können neue Teile eingelernt, Modelle ausgewählt und getestet werden. Es besteht eine optionale Verbindung zu einer **ML Ops**-Komponente.

2. **Modul C2: Verpackungsassistent**

Der Verpackungsassistent übernimmt die Verfolgung und Zuordnung von Objekten zu Verpackungsaufträgen. Dazu nutzt er die **Teileverfolgung (C2.1)**, die das Tracking der Objekte und deren Zuordnung zu Aufträgen durchführt. Eine **Benutzeroberfläche (C2.2 UI)** ermöglicht die Interaktion mit dem System. Die Daten werden in einem **Datenbank- und Bildspeicher (C2.3)** gespeichert, und ein **SAP-Adapter (C2.4)** sorgt für die Integration in das ERP-System von SAP.

3. **Modul C3: Verpackungsassistenztation**

Dieser Bereich umfasst die physische Station, an der die Mitarbeitenden die Verpackungsaufträge durchführen. Hier werden verschiedene Eingabegeräte wie eine **2D-Kamera** und optional ein **Barcode-Scanner** verwendet, um die Objekte zu erfassen. Über einen **Touchscreen** kann der Mitarbeitende mit dem System interagieren und Informationen zum aktuellen Verpackungsprozess erhalten.

4. **Modul C4: Ergonomieerkennung als Service**

Dieser Bereich ist als zusätzlicher Service vorgesehen und wird für die ergonomische Erkennung und Bewertung genutzt. Die Verbindung zu den anderen Komponenten ist gestrichelt dargestellt, was darauf hinweist, dass diese Komponente optional ist oder nur bei Bedarf eingesetzt wird.

Zusätzlich zeigt das Diagramm verschiedene Datenflüsse (dargestellt durch Pfeile), die die Kommunikation und Datenverarbeitung zwischen den Komponenten darstellen.

Analyse des ausgewählten Prozesses und Gestaltung der User Experience

Die Benutzeroberfläche des Werkerassistenzsystems bildet die zentrale Schnittstelle für die Anwender. Sie zeigt die Ergebnisse der Arbeitsschritterkennung an und leitet den Nutzer bei den nächsten Schritten an. Diese Informationen werden auf einem Touchscreen dargestellt, wobei die erkannten Schritte mit den Echtzeitbildern der Kameras überlagert werden. In Abbildung 3 sind beispielhafte Ausschnitte dieser Benutzeroberfläche zu sehen. Die einzelnen Schritte zur Umsetzung waren wie folgt:

- **Erstellung von Mock-ups für den Verpackungsprozess:** Entwicklung von Mock-ups zur anschaulichen Darstellung und detaillierten Abbildung der einzelnen Schritte im Verpackungsprozess.
- **Aufbau der grafischen Benutzeroberfläche (GUI):** Design und Implementierung einer benutzerfreundlichen grafischen Benutzeroberfläche, die die Bedienung erleichtert und den Verpackungsprozess visuell unterstützt.
- **Besprechung des UX-Konzepts mit ADTRAN:** Gemeinsame Diskussion und Abstimmung des User-Experience-Konzepts (UX) mit dem Projektpartner ADTRAN, um die Bedienerfreundlichkeit und Effektivität sicherzustellen.
- **Überprüfung der Machbarkeit des Konzepts:** Evaluierung des Konzepts auf technische Machbarkeit, um sicherzustellen, dass alle Anforderungen erfüllbar sind und effektiv umgesetzt werden können.
- **Integration in die Systemarchitektur:** Einbindung der neuen Entwicklungen in die bestehende Systemarchitektur, um eine nahtlose Funktionalität und Interoperabilität zu gewährleisten.
- **Implementierung der Benutzeroberfläche:** Integration der Benutzeroberfläche in das firmeneigene Basisframework von Gestalt, um eine stabile und optimierte Grundlage für die Anwendung zu bieten.

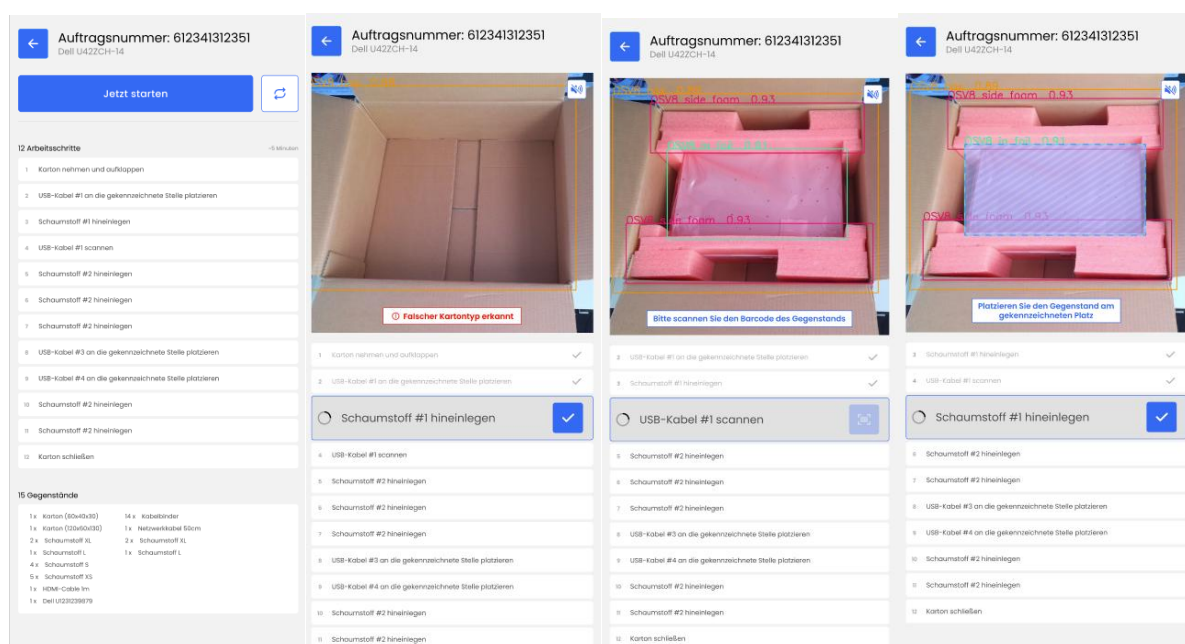


Abbildung 3: Prototypen der User Interfaces

Design des Arbeitsplatzes / Werkerassistenzsystems

Die Entwicklung und virtuelle Konstruktion des physischen Aufbaus für das Werkerassistenzsystem (siehe Abbildung 4), das auf die spezifischen Anforderungen zugeschnitten ist, stellt einen bedeutenden Schritt in der Automatisierung und Optimierung von Verpackungsprozessen dar. Diese speziell konzipierte Zelle bietet einen erheblichen Mehrwert im Vergleich zur traditionellen manuellen Arbeit, die häufig fehleranfällig ist und zu zusätzlichen Kosten oder sogar Reputationsschäden führen kann. Wesentliche Komponenten des Werkerassistenzsystems:

- **Tiefenkameras zur Erkennung der Arbeitsschritte:** Diese Kameras ermöglichen eine präzise Erfassung und Analyse der ausgeführten Arbeitsschritte, um sicherzustellen, dass die richtigen Handlungen zur richtigen Zeit durchgeführt werden.
- **Daten-Streaming über eingebetteten PC:** Die erfassten Daten werden in Echtzeit an ein eingebettetes Computer-System übermittelt, wodurch eine schnelle und zuverlässige Verarbeitung und Analyse möglich ist.
- **High-End-Compute-Infrastruktur über Netzwerkinfrastruktur:** Die leistungsstarke Rechenleistung, die für die Verarbeitung der komplexen Daten erforderlich ist, wird durch eine robuste Netzwerkinfrastruktur bereitgestellt, um eine reibungslose Ausführung der Prozesse zu gewährleisten.
- **Augmented Reality (AR)-Ansatz über einen Touchscreen:** Ein Touchscreen-Interface mit AR-Technologie bietet den Mitarbeitern visuelle Anweisungen und Unterstützung in Echtzeit, wodurch die Bedienung intuitiver und fehlerfreier wird.
- **Mobile Konstruktion:** Das System ist so konzipiert, dass es flexibel und mobil eingesetzt werden kann, was eine Anpassung an verschiedene Produktionsumgebungen und Anforderungen ermöglicht.

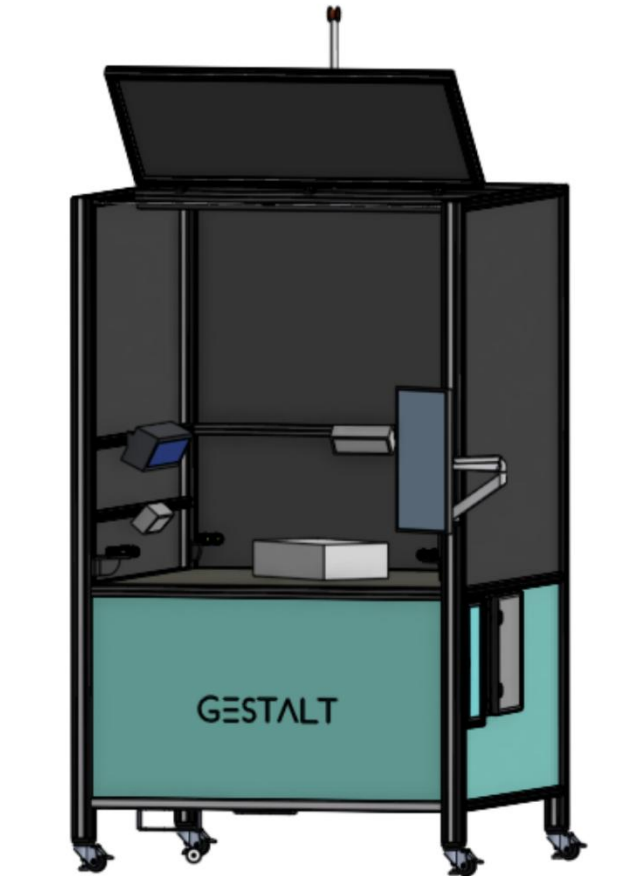


Abbildung 4: Konstruktion des Werkerassistenzsystems

Netzwerkcharakterisierung

Ein weiteres Anwendungsfeld der Virtualisierung im Projekt ist die mobile Robotik und die Auslagerung dazugehöriger Services. Ein O-RAN-Netzwerk wurde hierfür bereits konzipiert, jedoch noch nicht implementiert. Nach der Fertigstellung ist der erste Schritt die Netzwerkcharakterisierung, um die Leistungsfähigkeit des Netzwerks zu validieren und die Grundlage für eine erfolgreiche Auslagerung von Services zu schaffen.

Der Prozess (siehe Abbildung 5) beginnt mit der **Datenerfassung (Data Acquisition)**, in der eine Testreihe definiert und anschließend durch Knotenpunkte zur Datenerfassung (Data Acquisition Nodes) durchgeführt wird. Diese Knoten sammeln räumlich-zeitliche Testergebnisse von stationären oder mobilen Remote-Hosts. Die erfassten Daten werden in einer zentralen **Datenbank** gespeichert und zur weiteren Analyse bereitgestellt.

In der **Datenanalyse (Data Analysis)** wird eine Datenbank verwendet, um die Testergebnisse an verschiedene Tools weiterzuleiten:

- Ein **Heatmapping-Tool** erstellt eine visuelle Darstellung der Netzwerkperformance in Form von Heatmaps, was die Identifizierung von Leistungsengepässen erleichtert.

- Ein **Application Qualification Tool** überprüft anhand definierter Qualifikationskriterien, ob das Netzwerk den Anforderungen der Anwendungen – wie Robotik und Augmented Reality (AR) – entspricht.

In der abschließenden **Insights-Generierung** werden die Analyseergebnisse in nützliche Informationen überführt, darunter:

- **Heatmap-Visualisierung** zur grafischen Darstellung der Netzabdeckung und -leistung,
- **Qualifikationsberichte** zur Validierung der Netzperformance,
- **Überwachung und Echtzeit-Benachrichtigung**, um sofort auf potenzielle Probleme reagieren zu können,
- **Machbarkeitsbewertung des Setups**, um sicherzustellen, dass die Systemanforderungen für den angedachten Einsatz erfüllt werden.

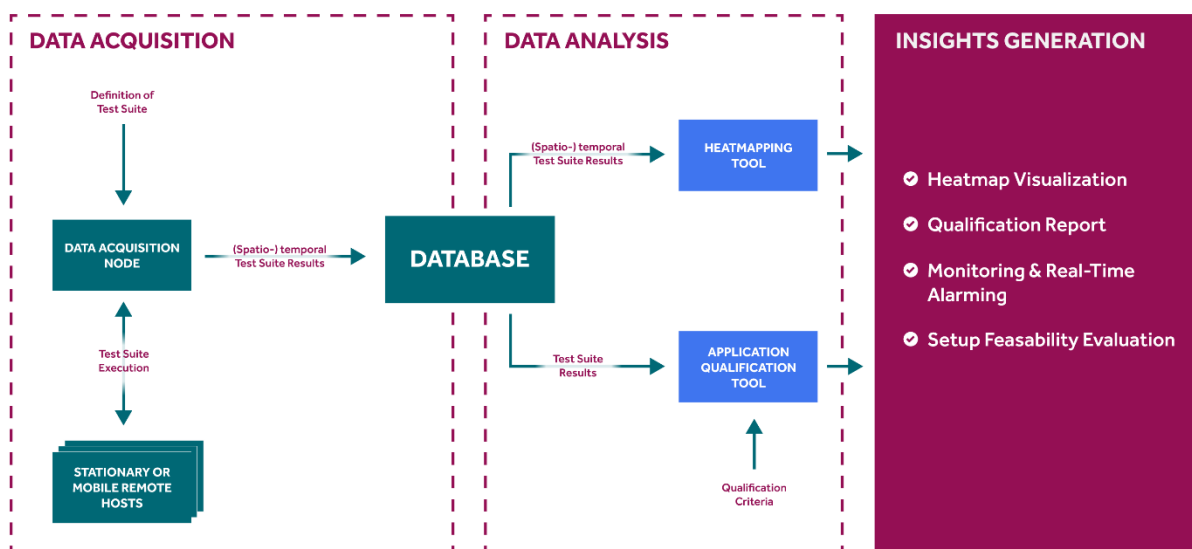


Abbildung 5: Schema der Netzwerkcharakterisierungstools

II.4 Fortschritt auf dem Gebiet des Vorhabens bei anderen Stellen

Es sind keine weiteren F&E-Ergebnisse bezüglich dieses Punktes bekannt geworden. So sind zwar in der Grundlagenforschung deutliche Fortschritte zu erkennen, die Anwendung auf die industrielle Praxis, so wie sie im Rahmen dieses Projekts untersucht wurde, ist jedoch nicht erreicht worden.

Einzelne wissenschaftliche Veröffentlichungen hinsichtlich der Pose-Erkennung transparenter Objekte kann für die weitere Forschung relevant sein und zur Verbesserung der eingesetzten Algorithmik führen.

II.5 Veröffentlichungen des Ergebnisses

Im bisherigen Projektverlauf wurden keine konkreten Veröffentlichungen aus dem Projekt hervorgebracht. Zukünftige Veröffentlichungen werden jedoch erwartet, sobald die Evaluation in den Laboren beginnt und die Evaluationsergebnisse verfügbar sind..