

Raum-unabhängiges Gesamtkonzept für die Arbeitswelt der Zukunft

Projekt: Offenes Innovationslabor KI zur Förderung gemeinwohlorientierter KI-Anwendungen (Go-KI)

Autoren: Pedram Babakhani, Finn Harms, Moritz Heine, Jan Henri Evard, Lennard Hänsch, Tobias Schulz, Tobias Küster, Fikret Sivrikaya

Datum: 17.03.2025

Inhalt

Einführung.....	2
Literaturübersicht.....	3
Die ZEKI Umgebung.....	4
Anwendungen im ZEKI Reallabor.....	6
Multisensor.....	6
Conversation Engine.....	8
Smart Kitchen.....	9
Interactive Wayfinding.....	11
Invisible Interaction: Smart Ring für gestenbasierte Steuerung.....	12
Smart Workplace: Ergonomic Desk and Chair und Furniture Box.....	13
Smart Planting: Sensorbasiertes Pflanzen-Pflege im Büro.....	16
Übertragbarkeit.....	18
KI-Framework-Integration.....	21
Das OPACA-Framework.....	21
OPACA BPMN-Editor.....	21
OPACA LLM-Unterstützung.....	22
Integration mit Reallabor-Anwendungen.....	24
Übertragbarkeit.....	25
Zusammenfassung.....	26
Referenzen.....	27

Gefördert durch:



aufgrund eines Beschlusses
des Deutschen Bundestages

Einführung

Ein Ziel des Go-KI-Projekts war die Untersuchung von Methoden und Werkzeugen zur niederschweligen Entwicklung gemeinwohlorientierter KI-Anwendungen mit Fokus auf den Arbeitsplatz der Zukunft. Das *Zentrum für Erlebbar Künstliche Intelligenz und Digitalisierung (ZEKI)* mit Sitz in Berlin dient als Innovationszentrum, das sich auf die Weiterentwicklung angewandter Künstlicher Intelligenz (KI) in greifbaren und interaktiven Umgebungen konzentriert. Im Rahmen dieser Initiative wurde ein experimenteller digitalisierter Arbeitsbereich, das *ZEKI "Reallabor"*, als eigenes Teilprojekt innerhalb des Go-KI-Projekts eingerichtet,

Das Hauptziel des Reallabors bestand darin, einen flexiblen Experimentierraum zu schaffen, der als Experimentierraum für *Smart Space* Anwendungen und interaktive Technologien dient. Dieser Bereich erleichtert das Entwerfen, Testen und Bewerten modernster KI-gesteuerter Lösungen für zukünftige Arbeitsplätze und interaktive Umgebungen. Über das Experimentieren hinaus bietet die Umgebung eine Plattform zum Sammeln, Verarbeiten und Analysieren von Daten, bietet Einblicke in die Integration von KI-Technologien in das tägliche Leben und fördert gleichzeitig Nachhaltigkeit und benutzerzentrierte Designprinzipien.

In diesem Zusammenhang wurden verschiedene innovative Anwendungen entwickelt und getestet – teils im Rahmen des *Ambient Assisted Living (AAL)* Projektkurses der TU Berlin, teils direkt im Go-KI-Projekt. Diese Anwendungen decken ein breites Spektrum an Anwendungsfällen ab, von verbessertem Wohlbefinden im Büro bis hin zu Produktivität und Nachhaltigkeit am Arbeitsplatz. Neben diesen einzelnen Anwendungen führte das Go-KI-Projekt auch zur Entwicklung eines KI-Frameworks und zugehöriger Tools, die für die Interaktion mit diesen Anwendungen und deren Orchestrierung verwendet werden können.

Dieses Dokument bietet einen Überblick über die ZEKI Reallabor-Umgebung und die verschiedenen Anwendungen, die in diesem Zusammenhang entwickelt wurden. Es beschreibt detailliert die einzelnen Anwendungen und erklärt, was zu beachten wäre, um sie in eine ähnliche Umgebung zu übertragen. Schließlich wird auch das Go-KI KI-Framework „OPACA“ vorgestellt, mit dem viele der von diesen Anwendungen bereitgestellten Funktionen kombiniert und orchestriert werden können.

Literaturübersicht

Smart Spaces stellen einen transformativen Fortschritt bei der Integration digitaler Technologien in physische Umgebungen dar, um die menschliche Interaktion, Produktivität und das Wohlbefinden zu verbessern. Diese Umgebungen sind mit miteinander verbundenen Sensoren, IoT-Geräten und Systemen der künstlichen Intelligenz (KI) ausgestattet, um adaptive und kontextabhängige Funktionen zu ermöglichen. Die Bedeutung intelligenter Räume liegt in ihrer Fähigkeit, die digitale und physische Welt zu verbinden, eine nahtlose Interaktion zu ermöglichen und Anwendungen in Bereichen wie Gesundheitswesen, Bildung und Arbeitsplatzoptimierung zu ermöglichen.

Die Erforschung experimenteller Umgebungen wie *Living Labs* und *Intelligent Spaces* ist ein Schwerpunkt der Forschung zur Weiterentwicklung *Smart Space* Anwendungen. Living Labs legen, wie Pan (2023) hervorhebt, den Schwerpunkt auf kollaborative Räume für Co-Creation und Innovation in Smart Cities. Diese Labore integrieren Endbenutzer in den Entwicklungszyklus und gewährleisten so praktische Lösungen, die auf die Anforderungen der realen Welt zugeschnitten sind.

„Intelligent Space“-Umgebungen, wie sie von Sasaki und Hashimoto (2007) beschrieben werden, nutzen verteilte Sensoren und Aktoren, um eine nahtlose menschliche Interaktion und Kollaboration mit Robotern zu ermöglichen. Diese Arbeit bildet die Grundlage für die Integration fortschrittlicher KI-Systeme in erlebbare Umgebungen.

Diraco et al. (2019) untersuchte die frühzeitige Erkennung von Veränderungen mithilfe von KI in intelligenten Wohnumgebungen und konzentrierte sich dabei auf die Verhaltensüberwachung zur Verbesserung von Sicherheit und Komfort. In ähnlicher Weise haben Rivera-Illingworth et al. (2006) den Einsatz neuronaler Netze zur Identifizierung menschlicher Aktivitäten in allgegenwärtigen Lebensräumen demonstriert und trugen so zur Entwicklung adaptiver Systeme bei.

Die Rolle der multimodalen Interaktion wird von Bui und Chong (2018) betont, die einen integrierten Mensch-Roboter-Umwelt-Interaktionsrahmen für umgebungsunterstütztes Leben vorgeschlagen haben. Ihre Arbeit unterstreicht die Bedeutung intuitiver und benutzerfreundlicher Schnittstellen in intelligenten Umgebungen.

Im Kontext der Verhaltenserkennung implementierten Rodríguez und Natalia (2015) Fuzzy-Ontologien, um menschliche Aktivitäten zu modellieren und so intelligentere Interaktionen in KI-gesteuerten Räumen zu ermöglichen. Darüber hinaus haben Braun et al. (2017) kapazitive Sensoren für die subtile menschliche Wahrnehmung in intelligenten Wohnräumen entwickelt und adressierten damit den Bedarf an nicht-invasiven Datenerfassungstechnologien.

Eine praktische Infrastruktur zur Untersuchung des Bedarfs an Aktivitätsüberwachung in der Servicerobotik wurde von Vasileiadis et al. (2016) eingeführt. Dieses Living-Lab-Framework unterstreicht den Wert des Testens von KI-Anwendungen in realen Szenarien.

Diese Arbeiten zeigen gemeinsam das Potenzial experimenteller Umgebungen wie des Reallabors bei der Weiterentwicklung von Smart Space Technologien. Aufbauend auf diesen Grundlagen integriert das Reallabor hochmoderne Anwendungen mit Schwerpunkt auf Anpassungsfähigkeit, benutzerzentriertem Design und praktischer Umsetzung.

Die ZEKI Umgebung

Das Zentrum für Erlebbar Künstliche Intelligenz und Digitalisierung (ZEKI) erstreckt sich über eine 813 m² große Bürofläche in Berlin, die darauf ausgelegt ist, innovative Forschung, Entwicklung und Experimente im Bereich künstliche Intelligenz und Digitalisierung zu unterstützen. Das Layout des ZEKI betont sowohl Funktionalität als auch Zusammenarbeit mit sorgfältig geplanten Räumen, die auf vielfältige Anwendungen und interdisziplinäre Teamarbeit zugeschnitten sind.

Der Grundriss verdeutlicht die Vielfalt der einzelnen Räume und ihre spezifischen Zwecke. Das ZEKI umfasst spezielle Räume wie den Delivery Robot Room, der für den Test und Betrieb autonomer Robotersysteme im Rahmen des BeIntelli¹ Projekts ausgestattet ist. Diese Bereiche bieten ein kontrolliertes Umfeld für die Entwicklung modernster Liefer-Technologien.

ZEKI legt außerdem Wert auf kollaborative und kreative Arbeitsabläufe. Der Co-Working Space ist ein dynamischer Bereich, der für flexible Teamarbeit konzipiert ist, während der Design-Thinking Space für kreative Brainstorming-Sitzungen gedacht ist. Für konzentriertes, individuelles Arbeiten bietet der Focus Space eine ruhige, ablenkungsfreie Umgebung. Darüber hinaus unterstützt der Konferenzraum große Meetings und Präsentationen und verfügt über modernste audiovisuelle Ausstattung, um den Wissensaustausch und Diskussionen zu erleichtern. Zum Telefonieren und für Videokonferenzen kann eine Mute-Box genutzt werden, ohne die anderen Kollegen im Großraumbüro zu stören.



ABBILDUNG: Impressionen aus dem ZEKI-Arbeitsumfeld, die die Vielfalt der Räume zum Zweck der Zusammenarbeit, Demonstration, konzentrierten Arbeit, Brainstorming und Geselligkeit veranschaulichen

¹ <https://be-intelli.com/>

Ein herausragendes Merkmal von ZEKI ist der Experience Hub, der als kombiniertes Auditorium und Showroom für KI-gesteuerte Technologien fungiert. Dieser interaktive Raum ermöglicht Besuchern die direkte Auseinandersetzung mit fortschrittlichen Lösungen und bietet eine umfassende Einführung in die Möglichkeiten der künstlichen Intelligenz. Angrenzende Annehmlichkeiten wie eine Intelligente Küche steigern die Nutzbarkeit der Umgebung zusätzlich und sorgen für ein komfortables und praktisches Arbeitsumfeld für Mitarbeiter und Besucher.

Das Reallabor am ZEKI ist eine innovative Experimentierplattform, die die Prinzipien intelligenter Räume verkörpert. Es dient als Testgelände für KI-gesteuerte Anwendungen, darunter Orientierungssysteme, intelligente Schreibtische und gestenbasierte Steuerungen. Durch die Bereitstellung einer kontrollierten Umgebung zur Untersuchung der menschlichen Interaktion mit fortschrittlichen Technologien trägt das Real Laboratory zur Entwicklung benutzerfreundlicher und effizienter KI-Systeme bei. Sein einzigartiger Ansatz kombiniert greifbare KI mit realen Anwendungstests, um das Design und die Funktionalität intelligenter Umgebungen voranzutreiben.

Die folgende Abbildung bietet einen Überblick über das ZEKI-Layout und verdeutlicht die nahtlose Integration funktionaler, kollaborativer und interaktiver Räume. Diese vielseitige Umgebung ist ein Beispiel dafür, wie aktuelle Technologie in moderne Arbeitsbereiche integriert werden kann, um Kreativität, Produktivität und Innovation zu fördern.



ABBILDUNG: Plan des ZEKI-Büros, der die Anordnung und den Zweck verschiedener Räume zeigt, die für innovative Forschung und Zusammenarbeit konzipiert sind. Zu den Anwendungen gehören der Küchenassistent, Interactive Wayfinding, Smart Planting und Smart Workplace, die die innovative Erforschung intelligenter Umgebungen durch das Reallabor demonstrieren.

Anwendungen im ZEKI Reallabor

Das Reallabor dient als Experimentierraum für die Erforschung modernster Smart-Space Technologien. Dieser Bereich ermöglicht die Erfassung realer Daten, Tests der Benutzerinteraktion und die iterative Entwicklung KI-gesteuerter Anwendungen. Jede der Anwendungen ist darauf ausgelegt, innovative Ansätze zur Verbesserung des Benutzererlebnisses, der Effizienz am Arbeitsplatz und der Anpassungsfähigkeit der Arbeitsumgebung zu erkunden.

Neben der Bereitstellung individueller Benutzeroberflächen für ihre jeweiligen Funktionen und Anwendungsfälle bieten viele der im Rahmen des Reallabors entwickelten Anwendungen auch eine REST-API, sodass ihre Kernfunktionen mithilfe des im Go-KI-Projekt entwickelten KI-Framework OPACA wiederverwendet und orchestriert werden können.

Viele dieser Anwendungen wurden im Rahmen des von der TU Berlin angebotenen und von Mitgliedern des ZEKI und des Go-KI-Projekts betreuten Projektkurses „Ambient Assisted Living“ (AAL) von verschiedenen Studierendenteams entwickelt oder erweitert. In den folgenden Abschnitten werden die verschiedenen Anwendung im Detail beschrieben, einschließlich relevanter Forschungsarbeiten und deren konkreter Umsetzung.

Multisensor

Die *Multisensor*-Plattform ist ein hochmodernes Umweltüberwachungssystem, das zur Messung einer Vielzahl von Umweltparametern entwickelt wurde, darunter CO₂, Temperatur, Luftfeuchtigkeit, Lichtintensität, Luftdruck, Luftqualität und Lärmpegel. Diese Plattform ist darauf ausgelegt, eine hochpräzise Datenerfassung in Echtzeit zu ermöglichen und so das Bewusstsein für die Umgebung und die Nachhaltigkeit in intelligenten Arbeitsbereichen zu verbessern. Die Integration robuster Sensoren und einer effizienten REST-API sorgt für einen reibungslosen Betrieb und Echtzeit-Datenübertragung über mehrere Räume hinweg innerhalb der ZEKI-Umgebung.

Jeder Multisensor ist mit fortschrittlichen Komponenten ausgestattet, um Zuverlässigkeit und Genauigkeit zu gewährleisten. Der SCD30 CO₂-Sensor² bietet hochpräzise Kohlendioxidmessungen, während der Umweltsensor BME680³ Temperatur, Druck, Luftfeuchtigkeit und Gaspegel überwacht. Die Intensität des Umgebungslichts wird mit dem VEML7700-Sensor gemessen,⁴ und Geräuschpegel werden mit einem MAX4466-Mikrofon mit Verstärker erfasst.⁵ Der ESP32-Mikrocontroller⁶ fungiert als zentrale Einheit und koordiniert die Datenverarbeitung und drahtlose Kommunikation über seine integrierten WiFi- und Bluetooth-Funktionen.

Die Skalierbarkeit und Modularität des Systems ermöglichen den Einsatz in verschiedenen Umgebungen. Im ZEKI wurden Multisensoren in den meisten Räumen installiert, um einen umfassenden Überblick zu bieten. Die von diesen Sensoren gesammelten Daten werden durch die Integration mit *Home Assistant* in Echtzeit visualisiert. Die Visualisierung überlagert wichtige

² <https://www.sensirion.com/de/umweltsensoren/kohlendioxidsensoren/co2-sensor-scd30/>

³ <https://www.bosch-sensortec.com/products/environmental-sensors/gas-sensors/bme680>

⁴ <https://www.vishay.com/docs/84286/veml7700.pdf>

⁵ <https://learn.adafruit.com/adafruit-agc-electret-microphone-amplifier-max4466>

⁶ <https://www.espressif.com/en/products/socs/esp32>

Kennzahlen wie Temperatur, CO₂-Gehalt und Luftfeuchtigkeit auf dem ZEKI-Grundriss und ermöglicht es Facility Managern, Probleme proaktiv anzugehen. Neben seinen eigenen Funktionen und der Integration in Home Assistant ist der Multisensor auch eine Schlüsselkomponente, die in mehreren anderen Reallabor-Anwendungen zur Erfassung von Umgebungsdaten verwendet wird.

Jüngste Fortschritte in der Multisensortechnologie unterstreichen die wachsende Bedeutung der Umweltüberwachung. Studien haben die Rolle von Multisensorplattformen in Smart Spaces zur Überwachung der Luftqualität und Energieeffizienz (Astolfi et al., 2023), zur Optimierung der Raumklimabedingungen (McKenzie et al., 2009) und zur Integration von Sensorsystemen in städtische Umgebungen hervorgehoben (Terziyski et al., 2020). Darüber hinaus steigern KI-basierte Ansätze zur Analyse von Zeitreihen-Umweltdaten (Hu et al., 2021, Liu et al., 2023) den Wert von Multisensoren weiter, indem sie ein prädiktives und proaktives Umweltmanagement ermöglichen.

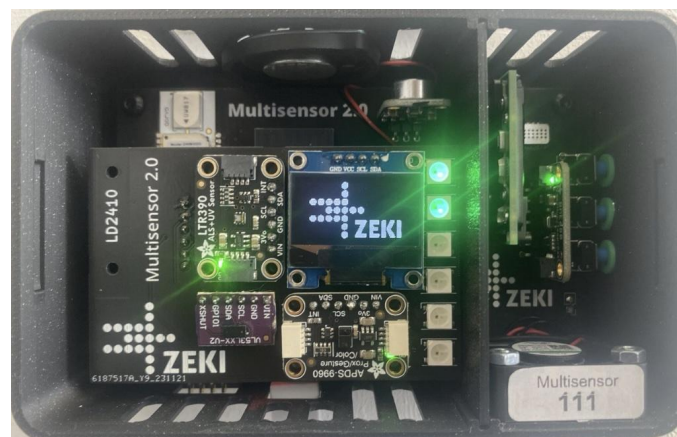


ABBILDUNG: Die Multisensor-Plattform: Wichtige Hardwarekomponenten und ihre Integration in die ZEKI-Umgebung.

Visualisierung von Umweltdaten

Das Visualisierungsmodul ist ein Schlüsselmerkmal der Multisensor-Plattform und wandelt Rohdaten in Erkenntnisse um, auf die reagiert werden kann. Das System nutzt die Fähigkeiten von Home Assistant und bietet ein benutzerfreundliches Dashboard, das Umgebungsmetriken auf einen räumlichen Grundriss von ZEKI legt. Dadurch können Benutzer Trends und Anomalien bei Umgebungsparametern wie CO₂-Gehalt, Temperatur und Luftfeuchtigkeit in Echtzeit erkennen.

Die Daten jedes Sensors werden in speziellen Registerkarten für Luftfeuchtigkeit, Temperatur, CO₂ und Druck angezeigt, was eine klare und zielgerichtete Analyse gewährleistet. Darüber hinaus umfassen die individuellen Sensorvisualisierungen aktuelle Messwerte, historische Trends und durch Richtlinien des Bundesministeriums für Arbeit und Soziales (BMAS) definierte Grenzwerte. Dadurch wird sichergestellt, dass alle überwachten Parameter für die Bewohner innerhalb sicherer Grenzen bleiben, was das Wohlbefinden und die Produktivität steigert.



ABBILDUNG: Visualisierungs-Dashboard: Überlagerung von Umweltkennzahlen auf dem ZEKI-Grundriss mit Home Assistant.

Conversation Engine

Die *Conversation Engine* ist eine zentrale Komponente des Reallabors, die entwickelt wurde, um die Mensch-Roboter-Interaktion (HRI) durch adaptive und kontext-sensitive Dialoge zu verbessern. Es basiert auf der Integration des humanoiden Roboters "Pepper"⁷ mit erweiterten NLP-Funktionen (Natural Language Processing), unterstützt von ChatGPT. Wir haben die sozialen Robotik-Funktionen von Pepper mit ChatGPT kombiniert, um den Besuchern des ZEKI eine interaktive und informative Schnittstelle bereitzustellen (Smith et al., 2024). Ihre Ergebnisse unterstreichen, wie wichtig es ist, die Sprachkompetenz einer Konversations-KI mit Peppers körperlichen Gesten und emotionaler Intelligenz zu kombinieren, um ein natürliches und ansprechendes Benutzererlebnis zu schaffen (Jones et al., 2023).

⁷ [https://en.wikipedia.org/wiki/Pepper_\(Roboter\)](https://en.wikipedia.org/wiki/Pepper_(Roboter))

Umsetzung im Reallabor

Die Conversation Engine nutzt Peppers integrierte Sensoren zur Gesichtserkennung und Emotionserkennung. Das über LangChain in ChatGPT integrierte System unterstützt komplexe aufgabenorientierte Interaktionen. Die Conversation Engine ermöglicht es Pepper, Besuchern durch die Beantwortung von Fragen zum Reallabor, ZEKI, Aktivitäten, Mitarbeiter zu helfen und die Erklärung laufender Projekte. Das Web-Crawling in Echtzeit gewährleistet aktuelle Antworten zu Projekten im ZEKI. Zu den Verbesserungen gehören Speicherfunktionen für die Kontinuität der Unterhaltungen und benutzerdefinierte Gesten, die sich an den Kontext der Interaktion anpassen. Diese Innovation unterstreicht das wachsende Potenzial der Kombination physischer Robotik mit dialogorientierter KI und ermöglicht so zugänglichere und nachvollziehbarere Interaktionen zwischen Menschen und intelligenten Systemen. Zukünftige Iterationen zielen darauf ab, die Präzision der Spracherkennung zu verbessern und mehrsprachige Funktionen zu integrieren.

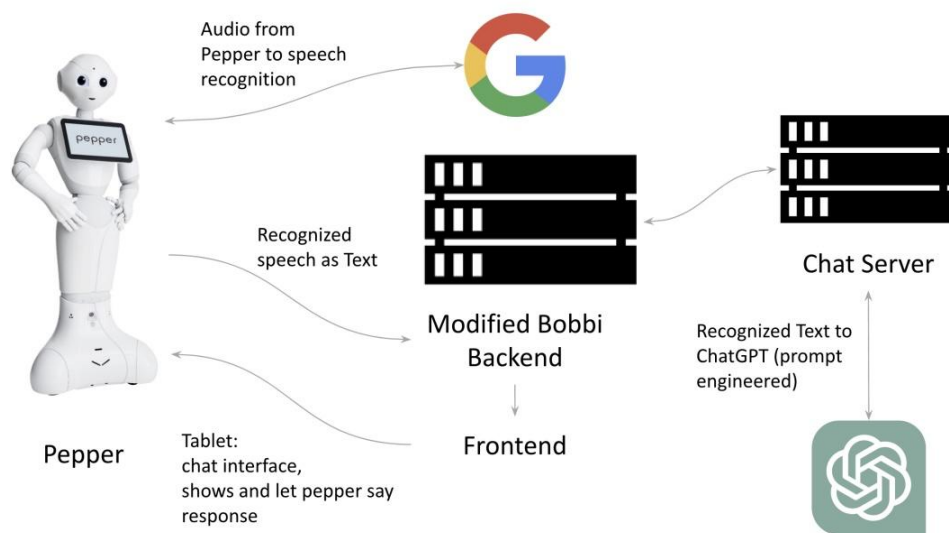


ABBILDUNG: Darstellung der Architektur und Funktionalität der Conversation Engine.

Smart Kitchen

Die Smart Kitchen-Anwendung im Reallabor integriert maschinelles Lernen (ML), Objekterkennung und webbasierte Automatisierung, um Küchenmanagement und Nachhaltigkeit neu zu definieren. Durch die Nutzung von Fortschritten in der Computer Vision, wie dem YOLOv8-World Modell zur Echtzeit-Objekterkennung,⁸ deckt das System vier Hauptfunktionen ab: Abfallmanagement, Rezepterstellung, Bestandsverfolgung und Erstellung von Einkaufslisten.

Bei der Implementierung werden ESP-32-Kameras eingesetzt, die strategisch in verschiedenen Bereichen installiert sind, um Bilder von Lebensmitteln aufzunehmen. Diese Bilder werden mithilfe des YOLOv8-World-v2 Modells verarbeitet, das Elemente identifiziert und eine SQLite-Datenbank mit Informationen wie Ablaufdaten und Kategorien aktualisiert. Diese Datenbank lässt sich in eine Webanwendung integrieren und ermöglicht es Benutzern, den Lagerbestand zu verfolgen, Rezepte dynamisch zu generieren und Einkaufslisten zu erstellen. Von GPT-4 generierte Rezepte nutzen

⁸ <https://github.com/ultralytics/yolov8>

verfügbare Zutaten, um Lebensmittelverschwendung zu minimieren. Zu den weiteren Funktionen gehören automatische Benachrichtigungen bei ablaufenden Artikeln und die nahtlose Integration des LUNA-Sprachassistenten für freihändige Bedienung.

Die maschinelle Lernkomponente des Smart Kitchen nutzt eine fein abgestimmte Version von YOLOv8-Worldv2. Dieses Modell wurde speziell an die Küchenumgebung angepasst, indem es auf dem MVTec D2S-Datensatz trainiert wurde,⁹ der dicht segmentierte Bilder deutscher Lebensmittel in verschiedenen Kategorien enthält. Darüber hinaus wurde ein benutzerdefinierter Datensatz aus 1.000 küchenspezifischen Bildern manuell annotiert und integriert, um die Erkennungsgenauigkeit unter realen Bedingungen, wie z. B. unübersichtlichen Anordnungen und wechselnder Beleuchtung, zu verbessern. Dieser Feinabstimmungsprozess verbesserte die Precision und den Recall des Systems für Lebensmittelerkennungsaufgaben erheblich.



ABBILDUNG: Das Smart Kitchen-Setup zeigt die Platzierung der ESP-32-Kamera und die Artikelerkennung mit YOLOv8-Worldv2.

Die Abbildung veranschaulicht den Smart Kitchen-Aufbau und hebt die Platzierung von ESP-32-Kameras in Regalbereichen und das Echtzeit-Objekterkennungssystem hervor. Diese Kameras sind strategisch platziert, um eine umfassende Abdeckung zu gewährleisten und eine genaue Lebensmittelerkennung und Bestandsaktualisierung sicherzustellen. Die Fähigkeit des Systems, Artikel unter variablen Bedingungen zu identifizieren, ist eine Kernfunktion, die derzeit für eine verbesserte Leistung optimiert wird.

Die Anwendung integriert außerdem eine benutzerfreundliche Weboberfläche für eine effiziente Bestandsverwaltung und Essensplanung. Benutzer können Artikel scannen, den Lagerbestand überwachen und Echtzeit-Feedback zur Artikelverfügbarkeit oder Ablaufwarnungen erhalten.

Das Webinterface der Smart Kitchen ist in mehrere Bereiche unterteilt. Der linke Bereich zeigt den Lebensmittelscannvorgang mit Heatmaps zur Objekterkennung, während der rechte Bereich ein organisiertes Inventar zeigt. Zu jedem Artikel gehören Details wie Menge, Ablaufstatus und Kategorie.

⁹ <https://www.mvtec.com/company/research/datasets/mvtec-d2s>

Das System gewährleistet eine intuitive Navigation und verbessert das Benutzererlebnis, vereinfacht die Bestandsverwaltung und fördert die Nachhaltigkeit.

LUNA, ein mehrsprachiger Sprachassistent auf Basis von Whisper und GPT-4, verbessert die Benutzerfreundlichkeit der Smart Kitchen weiter. LUNA unterstützt 98 Sprachen und ermöglicht die freihändige Interaktion für eine Vielzahl von Aufgaben, wie z. B. das Öffnen von Regalen, das Auffinden von Gegenständen. Ausgestattet mit einem 360-Grad-Mikrofon-Array¹⁰ und einer kompakte Computerplattform,¹¹ unterstützt LUNA Aufgaben wie Wettervorhersagen, Rezeptvorschläge und Musikwiedergabe. Die API ermöglicht die nahtlose Integration mit neuen Geräten und gewährleistet so Skalierbarkeit und Anpassungsfähigkeit in modernen Küchen.

Herausforderungen wie die Aufrechterhaltung der Modellgenauigkeit unter wechselnden Lichtverhältnissen werden aktiv angegangen. Zukünftige Upgrades umfassen die optische Zeichenerkennung (OCR) zur Textextraktion aus Verpackungen und eine verbesserte Integration mit Smart-Home-Systemen. Diese Verbesserungen zielen darauf ab, das Abfallmanagement zu optimieren und die Arbeitsabläufe in der Küche zu vereinfachen, wodurch die Smart Kitchen zu einem wesentlichen Bestandteil eines nachhaltigen Lebens wird.

Interactive Wayfinding

Das *Interactive Wayfinding* im Reallabor nutzt fortschrittliche Technologien, um die Navigation in komplexen Innenräumen zu verbessern. Diese vom Ground Guiding Assistant System (GGAS) inspirierte Anwendung nutzt adressierbare LED-Streifen, die auf dem Boden installiert sind, um eine intuitive, visuelle Navigationsführung zu ermöglichen. Durch diesen innovativen Ansatz wird gleichzeitig Zugänglichkeit und Einfachheit gewährleistet, ohne dass Benutzer zusätzliche Hardware mitführen müssen (Schulz et al., 2024).

Umsetzung im Reallabor

Das interaktive Wegeleitsystem im Reallabor verwendet in den Fußboden eingebettete LED-Streifen, um Benutzer zu bestimmten Orten zu leiten. Das System integriert Berührungs- und Sprachinteraktionen über eine Variable Benutzeroberfläche. Benutzer können ihr Ziel über eine Touchscreen-Karte oder Sprachbefehle eingeben, die von einem LLM verarbeitet werden, um den angeforderten Standort zu identifizieren. Sobald ein Ziel ausgewählt ist, aktiviert das System das entsprechende LED-Streifensegment mit einer bestimmten Farbe. Echtzeitanimationen auf den Streifen führen den Benutzer dynamisch entlang seiner Route. Das Backend nutzt ESP32-Controller, die die LED-Animationen verwalten und nahtlose Übergänge zwischen den Pfaden gewährleisten. Diese Funktionen machen das System äußerst effektiv für die Mehrbenutzernavigation und ermöglichen die gleichzeitige Führung von bis zu drei Benutzern über farbcodierte Pfade.

Diese Lösung unterstreicht das Potenzial der Kombination physischer Leitsysteme mit fortschrittlicher KI, um ein robustes, benutzerzentriertes Navigationssystem zu schaffen. Für zukünftige Erweiterungen wird die Integration von Bewegungsverfolgung und adaptiven LED-Animationen untersucht, um die Funktionalität in dynamischen Umgebungen zu verbessern.

¹⁰ Seeed Studio ReSpeaker USB Microphone Array: https://wiki.seeedstudio.com/ReSpeaker_USB_Mic_Array

¹¹ Minis Forum GK41 Mini-PC zum Einsatz: <https://www.minisforum.com>

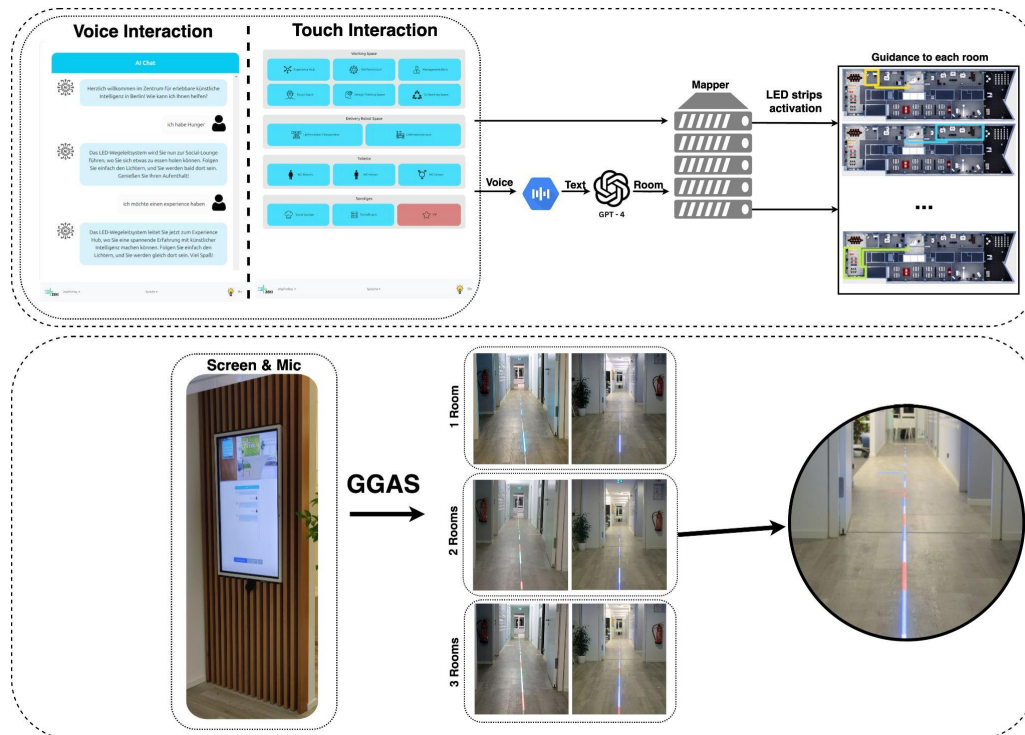


ABBILDUNG: Interaktive Sprach- und Berührungsmodi von GGAS und Visualisierung der Wegfindungsmethode

Invisible Interaction: Smart Ring für gestenbasierte Steuerung

Der *Invisible Interaction* Smart Ring ist ein Gerät, das eine nahtlose, gestenbasierte Interaktion mit intelligenten Umgebungen ermöglicht. Dieses Gerät nutzt kapazitive Näherungssensor- und Beschleunigungs-Daten und integriert fortschrittliche Gestenerkennungs-Algorithmen, um eine intuitive Steuerung ohne sichtbare oder aufdringliche Schnittstellen zu ermöglichen. Im ZEKI Reallabor wurde der Invisible Interaction Ring zur Steuerung intelligenter Küchenschränke eingesetzt und demonstrierte sein Potenzial, Interaktionen in modernen Räumen zu revolutionieren.

Der Smart Ring kommuniziert über Bluetooth Low Energy (BLE) mit einem Raspberry Pi, der als lokale Verarbeitungseinheit für die Gestenerkennung dient. Dieser Raspberry Pi verarbeitet Echtzeitdaten von den Sensoren des Rings, um bestimmte Gesten, wie zum Beispiel Wischbewegungen, zu interpretieren und diese in umsetzbare Befehle zu übersetzen. Diese Befehle werden dann an die ShelfAPI gesendet, um Aufgaben wie das Öffnen oder Schließen von Schränken auszuführen.

Das unsichtbare Interaktionssystem ermöglicht die Steuerung von Küchenschränken mit intuitiven Gesten, sodass keine physische Interaktion mit Griffen erforderlich ist. Gleichzeitig ist es für eine einfache Erweiterung konzipiert, um zusätzliche Gesten zu unterstützen und sich in andere Smart-Home-Systeme zu integrieren. Sämtliche Daten werden lokal verarbeitet, um die Privatsphäre der Benutzer zu gewährleisten, ohne Cloud-basierte Datenspeicherung oder externe Übertragung.

Im aktuellen Setup sind vier verschiedene Gesten – nach links, rechts, oben und unten wischen – dem Öffnen oder Schließen bestimmter Schränke zugeordnet. Diese Implementierung hat sich als wirksam bei der Vereinfachung von Benutzerinteraktionen und der Verbesserung der Zugänglichkeit

erwiesen, insbesondere für Personen mit eingeschränkter Mobilität. Die folgende Abbildung zeigt den Smart Ring in Aktion und demonstriert seine Integration in die Smart Kitchen-Umgebung.

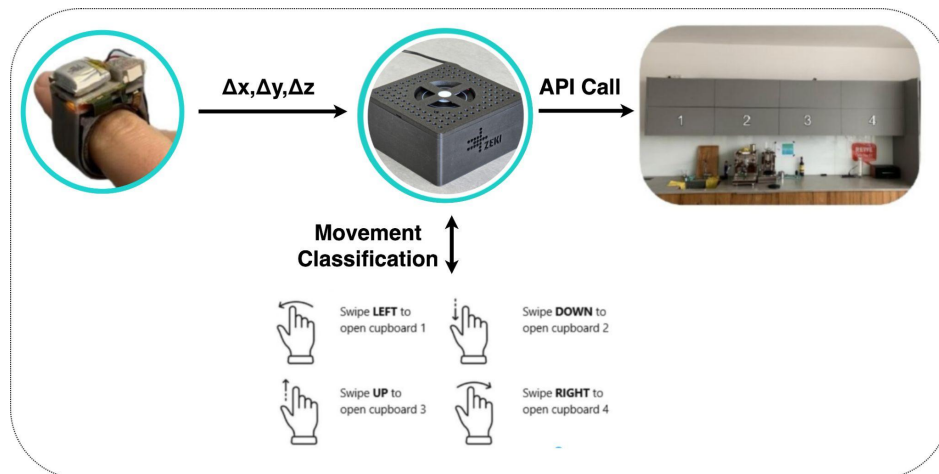


ABBILDUNG: Invisible Interaction: Gestenbasierte Steuerung in der smarten Küche.

Zukünftige Entwicklungen

Ziel des Projekts „Invisible Interaction“ ist es, die Genauigkeit der Gestenerkennung weiter zu verbessern und ihre Anwendbarkeit zu erweitern. Zu den bevorstehenden Verbesserungen gehören eine verbesserte Akkulaufzeit, ein robusteres Hardwaredesign und die Integration mit zusätzlichen IoT-Geräten. Darüber hinaus ermöglicht die dynamische Gestenanpassung den Benutzern, ihre eigenen Interaktionen zu definieren und so auf individuelle Bedürfnisse und Vorlieben einzugehen.

Smart Workplace: Ergonomic Desk and Chair und Furniture Box

Die Smart Workplace-Initiative integriert den Ergonomic Desk und den Smart Chair in ein zusammenhängendes System, das die Gesundheit, Produktivität und den Komfort der Benutzer verbessern soll. Diese innovative Kombination zeigt, wie ergonomische Prinzipien und IoT-Technologien sitzende Arbeitsumgebungen in adaptive und gesundheitsbewusste Räume verwandeln können (Gilson et al., 2011, Voordt et al., 2023). Alternativ dazu ist die Furniture Box ein kleines Gerät, das an den meisten Bürostühlen montiert werden kann, um einen Teil der Funktionen des Smart Desk and Chair bereitzustellen.

Ergonomic Smart Desk

Der ergonomische Smart Desk ist ein Beispiel für die Integration modernster Technologie mit praktischer Arbeitsplatzergonomie, die darauf abzielt, gesündere Arbeitsgewohnheiten zu fördern und die Produktivität zu steigern. Im Mittelpunkt seiner Funktionalität steht die Verbindung zum Multisensorsystem, das kontinuierlich Umgebungsparameter überwacht, einschließlich Temperatur, CO₂-Gehalt, Luftfeuchtigkeit und Helligkeit. Diese Echtzeitmessungen werden direkt vom zentral verbundenen Multisensornetzwerk erhalten und gewährleisten so eine genaue Datenerfassung und Zuverlässigkeit. Die gesammelten Daten werden von einer zentralen Anwendung verarbeitet, die auf einem Server gehostet wird, sodass sie über mehrere Geräte zugänglich sind, darunter Smartphones, Computer und ein spezielles 9-Zoll-Tablet, das auf dem Schreibtisch montiert ist. Diese

Zentralisierung gewährleistet nicht nur eine Datensynchronisierung in Echtzeit, sondern unterstützt auch eine nahtlose Benutzerinteraktion und Konfiguration.

Die interaktive Benutzeroberfläche, die über das montierte Tablet zugänglich ist, bietet Benutzern umfassendes Umgebungsfeedback. Wichtige Parameter werden in einem farbcodierten Format angezeigt – grün für optimale, orange für suboptimale und rot für schlechte Bedingungen – und helfen Benutzern, ihre Arbeitsumgebung zu verstehen und darauf zu reagieren. Die Abbildung zeigt die Benutzeroberfläche. Darüber hinaus umfasst diese Schnittstelle zusätzliche Funktionalitäten wie Arbeits- und Pausentimer, die die Einhaltung der empfohlenen Sitz- und Stehintervalle gewährleisten und so dynamische Arbeitsgewohnheiten fördern.

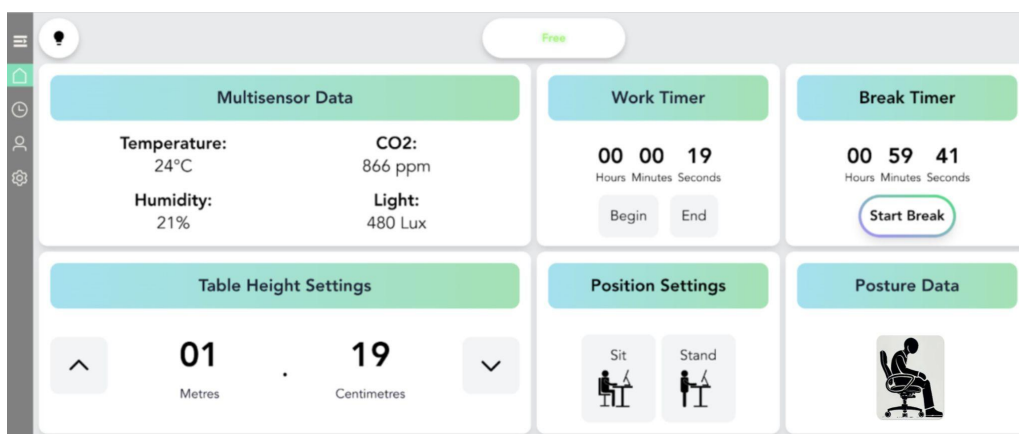


ABBILDUNG: Benutzeroberfläche des ergonomischen Smart Desk mit Anzeige von Umgebungsparametern und Höheneinstellungen.

Der Schreibtisch verfügt über ein System zur Höhenverstellung, das von einem reverse-engineered ELIOT-Tischmotor angetrieben wird. Durch die Dekodierung des proprietären Protokolls wurden benutzerdefinierte Befehle zum Anheben und Absenken des Schreibtisches implementiert, die eine präzise Steuerung ermöglichen. Benutzer können personalisierte Höheneinstellungen speichern, die automatisch angewendet werden, wenn sie sich über die Anwendung am Schreibtischsystem anmelden. Diese Funktion sorgt für Konsistenz und Benutzerfreundlichkeit in Gemeinschaftsbüroräumen und geht auf individuelle ergonomische Bedürfnisse ein. Zusätzlich können in den Schreibtisch eingelassene LED-Anzeigen verwendet werden, z.B. visuelle Hinweise auf den Reservierungsstatus oder den aktuellen Benutzer, was es ideal für Gemeinschafts- oder Co-Working-Umgebungen macht. Diese Indikatoren ermöglichen eine schnelle Identifizierung der Verfügbarkeit und optimieren die Auslastung der Schreibtische.

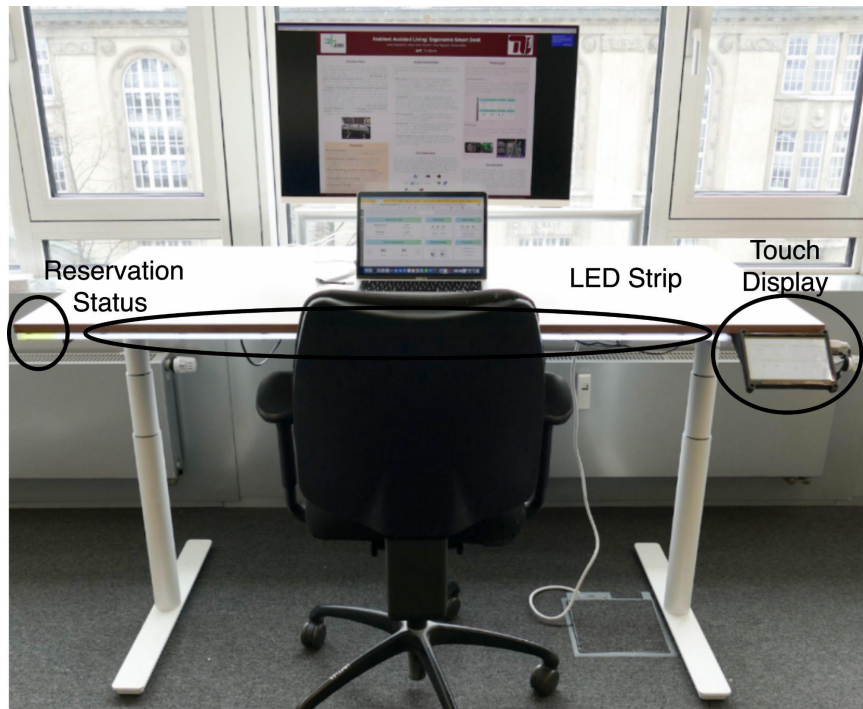


ABBILDUNG: Übersicht über den Aufbau des ergonomischen Smart Desk mit montiertem Tablet und interaktiven Komponenten.

Ähnliche Bemühungen haben intelligente Schreibtischsysteme mit eingebetteten Sensoren und ergonomischen Funktionen untersucht. Beispielsweise beschreiben Aryal et al. (2019) einen Multisensor-Tisch zur Überwachung von Arbeitsplatzparametern, während Hedayati et al. (2019) und Johnson et al. (2020) verstellbare Schreibtische zur Förderung der Gesundheit am Arbeitsplatz untersuchten. Darüber hinaus wurden von Kim et al. (2019) Technologien für echtzeit Umweltfeedback in gemeinsam genutzten Räumen entwickelt, und Chen et al. (2021) betonten die wachsende Bedeutung integrierter intelligenter Möbel in modernen Büros.

Smart Chair

Der Smart Chair ergänzt den Schreibtisch, indem er sich auf die Überwachung und Korrektur der Körperhaltung konzentriert. Es nutzt MD30-60-Drucksensoren, die mit einem ESP32-Mikrocontroller verbunden sind, um die Körperhaltung des Benutzers in Echtzeit zu bewerten (Kundaliya et al., 2023). Elf vordefinierte Haltungen, darunter auch „unbesetzt“, werden identifiziert und als JSON-Daten an den ergonomischen Schreibtisch oder andere verbundene Geräte übertragen. Diese Funktion fördert gesunde Sitzgewohnheiten, indem sie den Benutzern sofortiges Feedback bietet. Darüber hinaus unterstützt das Design des Stuhls potenzielle Verbesserungen durch ein langfristiges Haltungs-Profil, das wertvolle Erkenntnisse für die Behandlung chronischer sitzbedingter Gesundheitsprobleme liefern könnte (Voordt et al., 2023).

Durch die Integration des ergonomischen Schreibtischs und des Smart Chair entsteht ein System, das das Befinden des Benutzers am Arbeitsplatz ganzheitlich überwacht und verbessert. Die vom Stuhl gesammelten Daten ergänzen die Feedback-Mechanismen des Schreibtisches und bieten einen einheitlichen Überblick über die Körperhaltung und die Umgebungsbedingungen. Diese Synergie veranschaulicht das Potenzial von IoT-fähigen Möbeln zur Verbesserung der Gesundheit,

Produktivität und Benutzerzufriedenheit in modernen Arbeitsumgebungen (Aryal et al., 2019, Gilson et al., 2011).

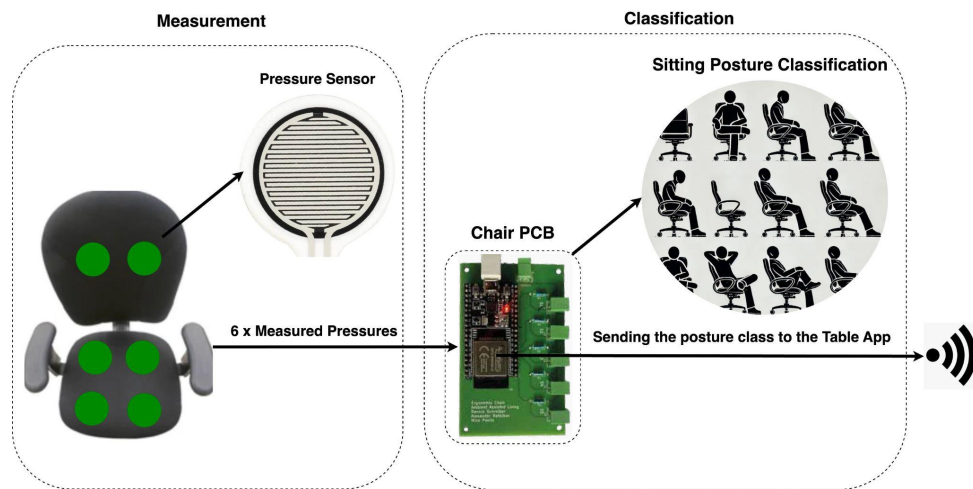


ABBILDUNG: Smart Chair ausgestattet mit Drucksensoren zur Echtzeit-Haltungsüberwachung.

Furniture Box

Die Furniture Box ist eine innovative Anwendung im Reallabor, die die Benutzerergonomie und das Umweltbewusstsein in intelligenten Arbeitsbereichen verbessern soll. Dieses kompakte Gerät, das an der Armlehne eines Stuhls montiert werden kann, verfügt über Näherungssensoren und ein eInk LCD-Display, um Echtzeit-Feedback zur Sitzdauer und den Umgebungsbedingungen zu geben. Inspiriert von modernen ergonomischen Systemen und IoT-basierten intelligenten Umgebungen (Kim et al., 2018, Gupta et al., 2023) fungiert die Furniture Box als persönlicher Arbeitsplatzassistent.

Die Furniture Box nutzt einen Näherungssensor, um die Anwesenheit des Benutzers zu überwachen und die Gesamtzeit zu berechnen, die er im Sitzen verbringt. Diese Daten werden auf einem energieeffizienten eInk-Bildschirm angezeigt und bieten Benutzern ein klares und unaufdringliches Feedback. Darüber hinaus ruft das Gerät Luftqualitätsdaten wie CO₂-Werte und Feinstaub (PM_{2.5}) direkt über WLAN von in das Arbeitsplatznetzwerk integrierten Umgebungssensoren ab. Die gesammelten Daten stellen sicher, dass Benutzer über die Luftqualität an ihrem Arbeitsplatz informiert sind, und fördern so gesündere und produktivere Gewohnheiten. Wenn die Luftqualität unter vordefinierte Schwellenwerte fällt, werden auf dem LCD-Bildschirm Warnungen angezeigt.

Dieses System arbeitet autonom und basiert auf Echtzeit-Sensorkommunikation, ohne dass zwischengeschaltete Geräte erforderlich sind. Sein tragbares Design ermöglicht die Anpassung an verschiedene Arbeitsplatzkonfigurationen und sorgt so für ein nahtloses Benutzererlebnis. Zukünftige Verbesserungen könnten adaptive Feedback-Mechanismen umfassen, die ergonomische Vorschläge basierend auf der Körperhaltung des Benutzers und erweiterten Nutzungstrends integrieren.

Smart Planting: Sensorbasiertes Pflanzen-Pflege im Büro

Das Smart Planting-System ist eine innovative Lösung zur Automatisierung und Verbesserung der Zimmerpflanzenpflege mithilfe fortschrittlicher Sensortechnologien und nahtloser Integration in Smart-Home-Systeme. Dieses System besteht aus einer speziell entwickelten Leiterplatte, die

wichtige Sensoren für Bodenfeuchtigkeit, Lichtintensität, Temperatur, Luftfeuchtigkeit und Luftdruck enthält. Es bietet kontinuierliche Überwachung und intuitives Feedback, um eine optimale Pflanzengesundheit sicherzustellen. Die Integration mit Home Assistant ermöglicht Echtzeitbenachrichtigungen und eine benutzerfreundliche Weboberfläche zur Verwaltung der Pflanzenpflege.

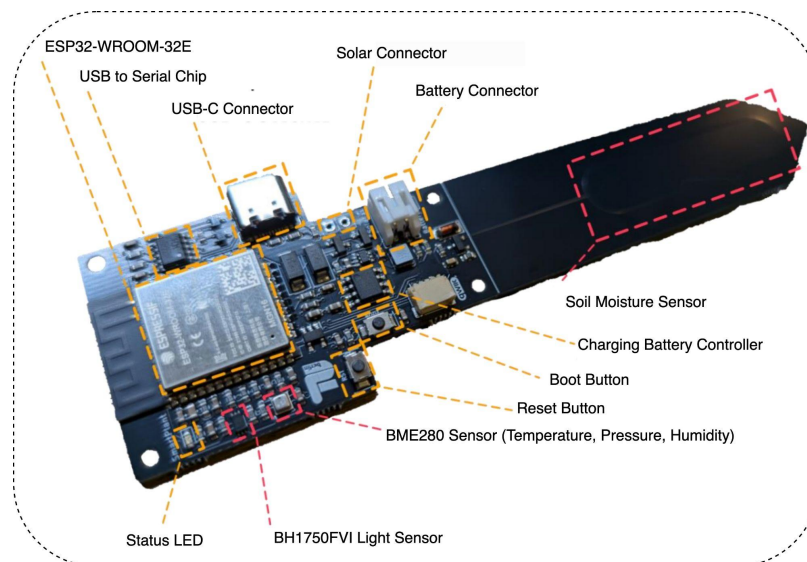


ABBILDUNG: Übersicht über den Smart Planting-Sensor mit beschrifteten Komponenten.

Die Hardware umfasst einen ESP32-WROOM-32E¹² Mikrocontroller mit integriertem WLAN für Echtzeit-Datenübertragung; ein BME280-Sensor¹³ zum Messen von Temperatur, Luftfeuchtigkeit und Druck; ein BH1750FVI Lichtsensor¹⁴ um die aktuellen Lichtverhältnisse einzuschätzen; ein Bodenfeuchtesensor¹⁵ um den Bewässerungsbedarf zu ermitteln; eine Solar- und Batterieladeschaltung (CN3063)¹⁶ für den Betrieb über Solarenergie oder USB-Aufladung; und ein USB-C-Anschluss und Status-LED¹⁷ für die Konnektivität und den Betriebsstatus.

Dieses System lässt sich nahtlos in das Home Assistant-Dashboard integrieren und zeigt Echtzeit-Sensordaten in einem leicht interpretierbaren Format an. Benutzer können Schwellenwerte für jeden Parameter anpassen und Benachrichtigungen auf ihren Geräten erhalten, wenn Werte vom optimalen Bereich abweichen. Das kompakte PCB-Design mit Abmessungen, die für die meisten Topfpflanzen geeignet sind, gewährleistet eine unauffällige Platzierung bei gleichzeitiger Maximierung der Funktionalität.

Das Smart Planting-System baut auf bestehender Forschung auf und schließt gleichzeitig Lücken bei kommerziellen Lösungen. Im Gegensatz zu reinen Bluetooth-Geräten wie PlantLink und Parrot Flower Power¹⁸ funktioniert das System über WLAN und lässt sich direkt in Smart-Home-Systeme integrieren, wodurch eine Fernüberwachung und Automatisierung von Pflanzenpflegeaufgaben

¹² <https://www.espressif.com/en/products/socs/esp32>

¹³ <https://www.bosch-sensortec.com/products/environmental-sensors/humidity-sensors-bme280>

¹⁴ <https://www.mouser.com/datasheet/2/348/bh1750fvi-e-186247.pdf>

¹⁵ <https://www.dfrobot.com/product-1130.html>

¹⁶ https://datasheet.lcsc.com/lcsc/2201071335_Shenzhen-Chip-On-Microelectronics-Tech-CN3063_C28637.pdf

¹⁷ <https://www.sparkfun.com/products/15794>

¹⁸ https://www.parrot.com/assets/s3fs-public/2021-09/flower-power_user-guide_uk.pdf

ermöglicht wird.¹⁹ Darüber hinaus verbessert es potentiell landwirtschaftliche IoT-Systeme, indem es ein skalierbares, wartungsarmes Design bietet, das auf den Innenbereich zugeschnitten ist. Durch die Nutzung von Solarenergie und einer wiederaufladbaren Batterie entfällt die Notwendigkeit einer häufigen Wartung, was es zu einer nachhaltigen Option für den Langzeitgebrauch macht (Khaled et al., 2022).

Zusammenfassend stellt das Smart Planting-System einen Fortschritt in der Zimmerpflanzenpflege dar, da es kostengünstiges Design, robuste Sensorintegration und benutzerorientierte Software kombiniert, um eine zuverlässige und skalierbare Lösung für Privathaushalte und Büros bereitzustellen.

Übertragbarkeit

Die für das Reallabor entwickelten Anwendungen weisen ein erhebliches Potenzial für die Übertragbarkeit auf neue Umgebungen auf. In diesem Abschnitt wird erläutert, wie jede Anwendung angepasst werden kann, welche spezifischen Schritte für ihre Bereitstellung erforderlich sind und welches Ausmaß an Anpassung oder Neukonfiguration erforderlich ist, um einen reibungslosen Betrieb in einer anderen Umgebung sicherzustellen.

Multisensor

Die Übertragbarkeit der Multisensorplattform auf eine neue Umgebung erfordert die Replikation ihrer Umgebungsüberwachungsfunktionen unter Berücksichtigung der einzigartigen physischen und betrieblichen Anforderungen des Zielstandorts. Die Hardware, einschließlich Sensoren wie SCD30, BME680 und VEML7700, kann mit minimalen Änderungen erneut bereitgestellt werden. Allerdings sind folgende Anpassungen notwendig:

- **Kalibrierung:** Eine Neukalibrierung des Sensors ist erforderlich, um ihn an die Umgebungsbedingungen des neuen Raums anzupassen, z. B. an die Höhe (für den Luftdruck) oder den CO₂-Grundwert.
- **Visualisierungsaktualisierungen:** Das Home Assistant-Dashboard muss mit einem neuen Grundriss aktualisiert werden, der das Layout der Zielumgebung widerspiegelt. Dies gewährleistet eine genaue räumliche Darstellung der Sensordaten.

Conversation Engine

Die Übertragbarkeit der Conversation Engine hängt von der Anpassung von Peppers Interaktionen an den Kontext der neuen Umgebung ab. Während die Hardware und die Kernfunktionen der KI gleich bleiben, sind erhebliche Anpassungen erforderlich:

- **Aktualisierung der Wissensdatenbank:** Das integrierte ChatGPT-System von Pepper muss mit Kontextinformationen über die neue Umgebung, einschließlich Layout, Personal und Services, aktualisiert werden.
- **Lokalisierung:** Mehrsprachige Funktionen müssen möglicherweise basierend auf der vorherrschenden Sprache des neuen Raums erweitert werden. Spracherkennungs- und

¹⁹ <https://www.cnet.com/reviews/oso-technologies-plantlink-review>

Synthesemodule müssen auf regionale Akzente oder Dialekte abgestimmt sein. Auch Peppers Gesten und Verhaltensweisen sollten mit den kulturellen Normen und Erwartungen des neuen Publikums übereinstimmen.

- Darüber hinaus sollten die Web-Crawling-Konfigurationen aktualisiert werden, um relevante Informationen speziell für die neue Umgebung abzurufen.

Smart Kitchen

Bei der Übertragung der Smart Kitchen-Anwendung muss die Kompatibilität mit der Raumaufteilung, den Geräten und der Netzwerkinfrastruktur des neuen Raums sichergestellt werden. Die folgenden Schritte sind entscheidend:

- Kameras: Die ESP-32-Kameras müssen strategisch in den Lagerbereichen der neuen Küche installiert werden, um eine vollständige Abdeckung und optimale Leistung des Objekterkennungssystems zu gewährleisten.
- Datensatz: Wenn der neue Raum Lebensmittel oder Artikel enthält, die im ursprünglichen Datensatz nicht vorhanden sind, müssen zusätzliche Bilder und Anmerkungen hinzugefügt werden, um das YOLOv8-World Modell für eine genaue Erkennung neu zu trainieren.
- Integration mit lokalen Geräten: Die Smart Kitchen muss über IoT-Protokolle mit vorhandenen Geräten verbunden werden. Für Geräte wie Kühlschränke, Öfen oder Schränke sind möglicherweise Kompatibilitätstests und Konfigurationsanpassungen erforderlich.
- Anpassung der Benutzeroberfläche: Die Oberfläche der Webanwendung sollte angepasst werden, um das Inventar und die Arbeitsabläufe widerzuspiegeln, die für die neue Kücheneinrichtung spezifisch sind.
- Die Kernfunktionen zur Objekterkennung und Bestandsverfolgung bleiben robust, erfordern jedoch möglicherweise geringfügige Anpassungen an neue Umgebungsbedingungen.

Interactive Wayfinding

Um das interaktive Wegeleitsystem in einer neuen Innenumgebung einzusetzen, sind Änderungen erforderlich, um den Unterschieden im Layout und den Benutzeranforderungen Rechnung zu tragen:

- Wegezuordnung: Die LED-Streifenwege müssen neu gestaltet werden, um sie an das Layout des neuen Raums anzupassen. Dazu gehört die physische Installation und Aktualisierung des Backends, um die überarbeiteten Pfade widerzuspiegeln.
- Backend-Konfiguration: Die ESP32-Controller, die die LED-Animationen verwalten, müssen neu programmiert werden, um die aktualisierten Routen und Farben zu berücksichtigen, die bestimmten Standorten zugewiesen sind.
- Aktualisierung der Benutzeroberfläche: Die Touchscreen-Karte und die Sprachbefehle müssen die Zielpunkte und Kontextinformationen des neuen Raums enthalten.
- Das aktuelle Design funktioniert nur für eine einzelne Etage; sollte die Wegführung über mehrere Etagen hinweg unterstützt werden, kann es erforderlich sein, mehrere Instanzen zu installieren und zu verbinden.

Invisible Interaction (Smart Ring)

Die Übertragbarkeit des Smart Rings erfordert vor allem die Anpassung seines Gestenerkennungssystems an die Geräte im neuen Raum:

- Gestenzuordnung: Möglicherweise müssen neue Gesten definiert werden, um verschiedene Geräte in der neuen Umgebung zu steuern, was Aktualisierungen des Gestenerkennungsalgorithmus erfordert.
- Geräteintegration: Die Bluetooth-Kommunikation des Rings muss für die Schnittstelle mit den IoT-Geräten im Zielraum konfiguriert werden, z. B. intelligente Türen, Lichter oder Geräte.
- Benutzerschulung: Benutzer in der neuen Umgebung benötigen möglicherweise eine Schulung, um sich mit dem gestenbasierten Steuerungssystem vertraut zu machen.

Smart Workspace

Das System „Ergonomischer Schreibtisch“ und „Smart Chair“ kann mit minimalen Hardwareänderungen übertragen werden, es sind jedoch Neukonfigurationen erforderlich:

- Benutzerprofile: In der Anwendung gespeicherte personalisierte Höhen- und Haltungseinstellungen müssen für neue Benutzer zurückgesetzt oder migriert werden.
- Aktualisierung der Visualisierung: Die Tablet-Oberfläche sollte angepasst werden, um die Umgebungsparameter und ergonomischen Richtlinien des neuen Raums widerzuspiegeln.

Furniture Box

Die Tragbarkeit der Furniture Box macht sie von Natur aus einfach übertragbar, es sind jedoch einige Neukonfigurationen erforderlich:

- Datenquelle zur Luftqualität: In einer neuen Umgebung muss sich die Furniture Box mit dem lokalen Multisensornetzwerk verbinden, um Echtzeit-Umweltdaten zu erhalten. API-Endpunkte für den Datenabruf müssen möglicherweise aktualisiert werden.
- Schwellenwertanpassung: Alarmschwellenwerte für Sitzdauer und Luftqualitätsparameter müssen möglicherweise basierend auf den für die neue Umgebung geltenden Richtlinien angepasst werden.

Smart Planting System

Die Übertragbarkeit des Smart Planting-Systems bringt folgende Anpassungen mit sich:

- Sensorkalibrierung: Bodenfeuchtigkeits-, Licht- und Umgebungssensoren müssen für die Bedingungen des neuen Standorts neu kalibriert werden.
- Dashboard-Integration: Das Home Assistant-Dashboard muss aktualisiert werden, um die neuen Pflanzenarten und ihre spezifischen Pflegeanforderungen widerzuspiegeln.
- Energiemanagement: Solarlade- und Batterie-Konfiguration sollten für die Lichtverhältnisse des neuen Raums optimiert werden.

KI-Framework-Integration

Außer der oben genannten Anwendung wurde im Rahmen des Go-KI-Projekts ein KI-Framework entwickelt, das Aspekte von Multiagentensystemen mit Microservices und Containerisierung kombiniert. Dies ermöglicht die Erstellung heterogener und verteilter Systeme mithilfe einer gemeinsamen API. Zusätzlich zum Framework wurden verschiedene Werkzeuge für Entwickler und Benutzer erstellt, die für eine einfachere Serviceentwicklung und eine intuitive Interaktion sorgen. Dazu gehören insbesondere ein BPMN-Editor und -Interpreter, der speziell an die API des Frameworks angepasst ist, sowie ein LLM-basierter Assistent, der es Entwicklern und Benutzern gleichermaßen ermöglicht, Abfragen in natürlicher Sprache zu verwenden, um mit dem laufenden System zu interagieren.

In Kombination schließen diese Tools die technische Lücke, indem technisch nicht versierte Domänenexperten über die Prozessmodellierung Service-Orchestrierungen erstellen können, ohne Code schreiben zu müssen, und sie senken die Hürde für alle Benutzer des Systems.

Das OPACA-Framework

Das „OPACA“-Framework (Open, Language- and Platform-Independent API for Containerized Agents) kombiniert Konzepte von Multiagentensystemen mit modernen Container- und Microservice-Technologien (vgl. Acar et al., 2024). Das Framework definiert zwei Komponenten: Agent Container (AC), die Agenten bereitstellen, die verschiedene Aktionen anbieten, auf externe Ereignisse reagieren oder proaktives Verhalten zeigen können, und Runtime Platforms (RP), die einen oder mehrere Agent Container verwalten und grundlegende Funktionalitäten bereitstellen, z. B. token-basierte Authentifizierung. Die Agent-Container laufen in Docker oder Kubernetes, während die Runtime-Plattform sie untereinander und möglicherweise mit anderen Runtime-Plattformen verbindet.

Die ACs und RPs kommunizieren untereinander und mit der Außenwelt oder externen Tools über eine standardisierte REST-API und stellen Routen bereit, um aktuell ausgeführte Agenten und ihre Aktionen abzurufen, Nachrichten an Agenten zu senden oder Aktionen aufzurufen. Die Referenzimplementierung²⁰ verwendet Java mit Spring Boot für die Runtime-Plattform und Kotlin mit JIAC VI (Rakow, 2019) für die Agent-Container; einzelne ACs können jedoch in jeder Programmiersprache implementiert werden, solange sie die API umsetzen. Während die Hauptfunktion der ACs darin besteht, Aktionen bereitzustellen, die als Webservices aufgerufen werden können, kann jeder AC auch zusätzliche Ports öffnen, um beispielsweise seine eigene, möglicherweise komplexe Web-Benutzeroberfläche zu hosten.

OPACA BPMN-Editor

Eine weit verbreitete Möglichkeit, bestehende Dienste zu komplexen Anwendungen zu orchestrieren, ist die Verwendung von BPMN-Prozessen (OMG, 2011, Küster et al., 2016), die eine intuitive Notation mit einer umfassenden Ausführungssemantik kombinieren. Es bietet einen hervorragenden Kompromiss zwischen Benutzerfreundlichkeit, Ausdruckskraft und Selbstdokumentation für viele

²⁰ Quellcode des OPACA-Frameworks: <https://github.com/GT-ARC/opaca-core>

Anwendungen in der Industrie. Mit der einheitlichen API von OPACA ist es besonders einfach, Aktionen zu durchsuchen und zu kombinieren, die von den auf der Plattform und ihren Containern ausgeführten Agenten bereitgestellt werden. So wurde im Zuge des Go-KI-Projekts ein neuer BPMN-Editor und -Interpreter entwickelt,²¹ basierend auf dem *BPMN-js* Framework.²²

BPMN-js bietet zwar einen hervorragenden webbasierten BPMN-Editor, ermöglicht jedoch nicht die Erstellung ausführbarer Prozesse. Hierzu mussten mithilfe von *BPMN extensionElements* zusätzliche Elemente für z.B. Variablen und Zuweisungen sowie zur Referenzierung von OPACA-Aktionen definiert werden, sowohl im Modell als auch in der Benutzeroberfläche des Editors. Darüber hinaus wurde der Editor um ein Services-Widget erweitert, das eine Verbindung zu einer laufenden OPACA-RP und den Import aller ihrer Aktionen als Dienste in das BPMN-Diagramm ermöglicht. Auf diese Weise können die OPACA-Aktionen an *Service Tasks* gebunden und zu neuen, komplexen ausführbaren Anwendungen kombiniert werden.

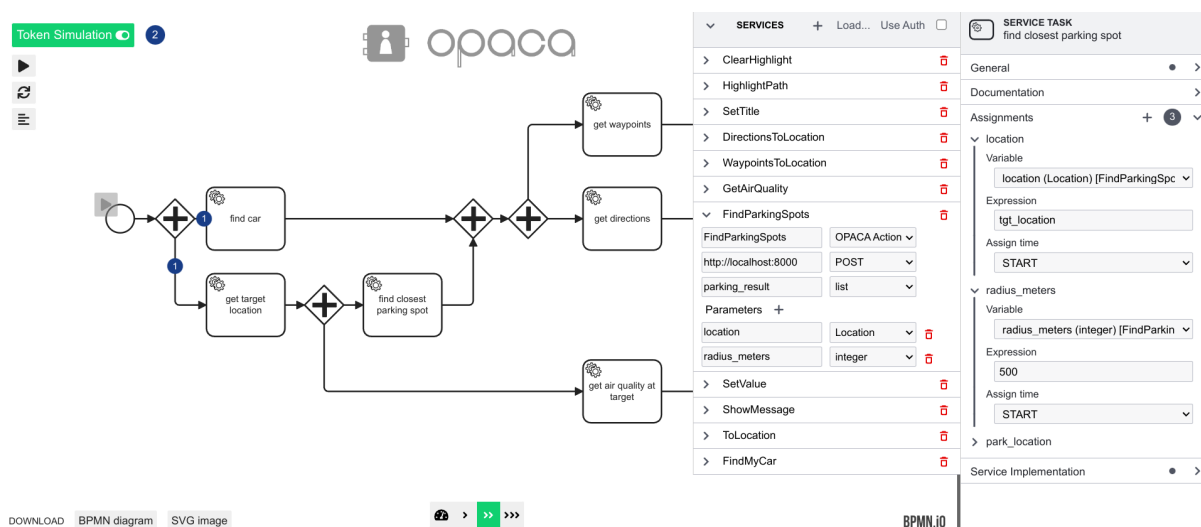


ABBILDUNG: OPACA BPMN-Editor mit Bearbeitungsbereich (mit aktiver Token-Simulation), Liste der verbundenen Dienste und den Eigenschaften des ausgewählten Elementes.

Der Prozessinterpreter verwendet die *BPMN-js Token-Simulation*, die in den Editor selbst integriert ist (und diesen gleichzeitig als Monitoring-Tool nutzt). Wie der Editor musste sie um Unterstützung für Variablen, Zuweisungen und Serviceaufrufe erweitert werden, um Bedingungen automatisch auszuwerten und OPACA-Aktionen aufzurufen. Der Interpreter kann im BPMN-Editor oder während der Ausführung in einem „virtuellen Webbrowser“ innerhalb eines OPACA-Agentencontainers verwendet werden, wodurch auch mehrere BPMN-Diagramme gleichzeitig im „Headless“-Modus geladen und ausgeführt werden können.

OPACA LLM-Unterstützung

Darüber hinaus kann für die Interaktion mit einer OPACA-Plattform ein speziell gepromptetes Large Language Model (LLM) genutzt werden. Dieses „kennt“ die auf einer OPACA-Plattform laufenden Agenten und deren Aktionen und kann sie auf Wunsch des Benutzers aufrufen; somit ermöglicht es eine dynamischere, intuitivere und niedrigschwelligere Interaktion als der BPMN-Editor.

²¹ Quellcode des OPACA BPMN-Editors: <https://github.com/gt-arc/opaca-bpmn>

²² BPMN.io: <https://github.com/bpmn-io/bpmn-js>

Die OPACA-LLM-Integration besteht aus zwei Teilen: einem Frontend, implementiert in Javascript mit Vue.js, das eine Web-Benutzeroberfläche bereitstellt, die hauptsächlich aus einem großen „Chat“-Fenster besteht, aber auch Steuerelemente für die Konfiguration der OPACA-Plattform und des zu verwendenden LLM sowie Multimedia-Unterstützung (Sprache und Bilder) enthält, und ein Backend, implementiert in Python, das sich um den Nachrichtenverlauf pro Sitzung kümmert. Dieses verwendet FastAPI, um Anfragen vom Frontend zu akzeptieren, und bietet verschiedene Methoden für die Interaktion mit dem tatsächlichen zu implementieren LLM und die angeschlossene OPACA-Plattform.²³

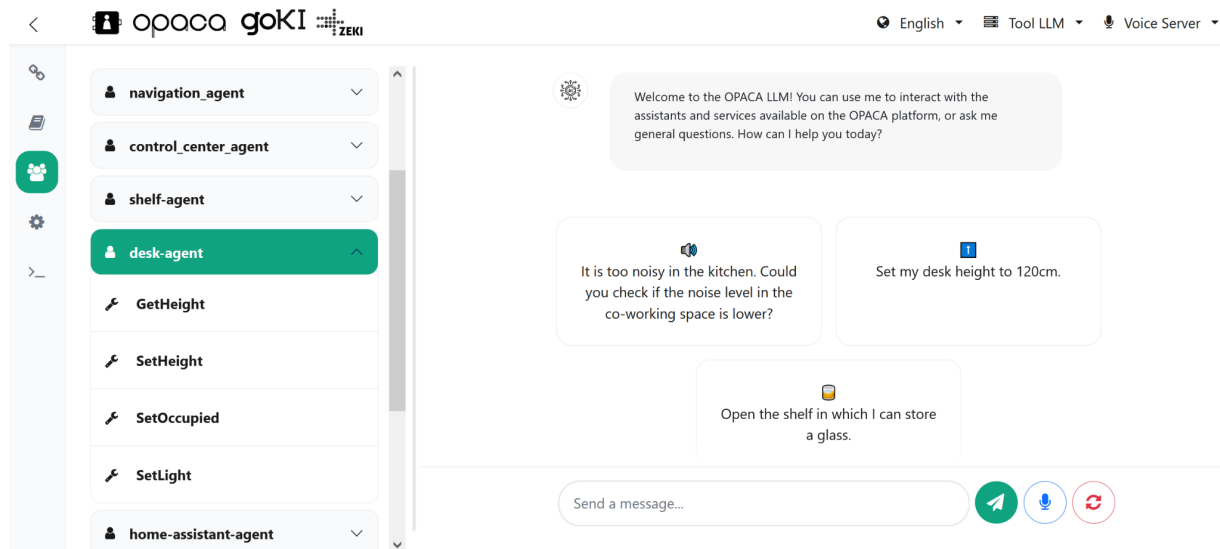


ABBILDUNG: OPACA LLM-Benutzeroberfläche mit Liste der verfügbaren Agenten und Dienste und großem Chat-Bereich (mit Beispiel-Anfragen).

Für die Interaktion mit dem eigentlichen LLM wurden mehrere Methoden implementiert:

- Ein einfacher Ansatz mit einem einzigen LLM-Agenten,²⁴ der die verfügbaren Aktionen als Teil des Systemprompts erhält und dessen Antwort nach Aktionsaufrufen durchsucht wird;
- Ein komplexerer Ansatz basierend auf REST-GPT (Song et al., 2023), mit vier LLM-Agenten für die Planung, Auswahl konkreter Aktionen, deren Aufruf und Auswertung der Ergebnisse;
- Ein Ansatz, der zwei LLM-Agenten zum Generieren und Auswerten von Aktionsaufrufen verwendet und die „Tools“-Funktion der meisten (aber nicht aller) neueren LLMs nutzt;
- Ein Ansatz, bei dem für jeden Agenten im OPACA-Framework dynamisch eine Gruppe von LLM-Agenten erstellt wird, die ausschließlich für die Aktionen dieses Agenten verantwortlich ist, sowie weiterer Agenten für die Orchestrierung und Auswahl, welche dieser Agentengruppen verwendet werden sollen, und für die Auswertung der Ergebnisse.

Darüber hinaus kann jeder der Ansätze so konfiguriert werden, dass unterschiedliche LLMs, wie GPT, LLAMA, Mistral und andere verwendet, und übliche Parameter wie die „Temperatur“ des LLM festgelegt werden können. Alle Methoden können mehrere Iterationen durchlaufen, bevor sie ein Ergebnis an

²³ OPACA LLM-Quellcode: <https://github.com/gt-arc/opaca-llm-ui>

²⁴ Der Begriff „Agent“ kann sich entweder auf einen Agenten im OPACA-Framework oder auf einen LLM-Agenten beziehen, d. h. einen Teil der LLM-Pipeline mit eigenem Zweck, Prompt und Nachrichtenverlauf.

den Benutzer zurückgeben, falls mehrere Aktionen aufgerufen werden müssen, und sie sind auch in der Lage, dem Benutzer mit allgemeinen LLM-Funktionen zu helfen, wie z. B. „Allgemeinwissen“, Textzusammenfassung, usw. – Fähigkeiten, die vom LLM auch verwendet werden, um geeignete Parameter für Aktionen zu „erraten“, sofern sie nicht explizit angegeben sind, oder um die Ergebnisse auszuwerten und zusammenzufassen, bevor sie dem Benutzer präsentiert werden.

Während das OPACA-LLM im Vergleich zu anderen allgemeineren Ansätzen hinsichtlich der Arten von Diensten, die es ausführen kann, eingeschränkter ist, macht die einheitliche Beschreibung von OPACA-Aktionen die LLM-Integration auch einfacher und robuster: In unseren Tests war das LLM in der Lage, alle verfügbaren Dienste ohne spezielles Training, Finetuning oder umfangreiche Beispiele zu verstehen und korrekt aufzurufen und zu kombinieren, wodurch es sich gut für die hochdynamischen Service-Landschaften eignet, die das OPACA-Frameworks ermöglicht.

Integration mit Reallabor-Anwendungen

Für die Integration mit dem ZEKI Reallabor wurden verschiedene Anwendungen als OPACA Agent Containers zur Verfügung gestellt. Für viele Anwendungen, die eine eigene REST-API bereitstellen, z.B. Beim Multisensor und der Smart Kitchen, wurde dazu ein schlanker OPACA-„Proxy“-Agent erstellt, der Aktionen bereitstellt, die intern nur an die eigentlichen Reallabor-Anwendungen delegiert werden, mit zusätzlicher Logik, um sie einfacher verwendbar zu machen (z. B. eine interne Zuordnung von Räumen zu ihren jeweiligen IDs). Weitere Dienste wurden direkt in OPACA entwickelt und bieten zusätzliche Funktionalitäten, die zusammen mit den anderen Reallabor-Anwendungen genutzt werden können.

Die folgenden Anwendungen aus Go-KI und dem Reallabor sind derzeit in OPACA verfügbar:

- Der oben genannte Proxy für mehrere Anwendungen des Reallabors, einschließlich Daten der Multisensoren (Temperatur, Luftfeuchtigkeit, CO₂ und Lärm in allen Räumen des ZEKI), Steuerung der Regale in der Küche, Steuerung des Smart Desk und des Wegeleitsystems.
- Ein einfacher Personal Information Manager, der mit der Exchange-API verbunden ist, um Zugriff auf Dienste wie E-Mails, Kalender und Kontakte zu ermöglichen.
- Informationsdienste für z.B. Aktienkurse, Wetter und Navigation unter Verwendung verschiedener kostenloser externer APIs, sowie Dienste, mit denen Google und Wikipedia durchsucht oder eine bestimmte Website geöffnet und ein anderes internes LLM zum Zusammenfassen der Inhalte verwendet werden können.
- Dienste zum Anzeigen von Text- oder Tabellendaten in einer einfachen Web-UI und zum Generieren verschiedener Arten von Diagrammen für übergebene Daten.
- Ein Proxy für mehrere Funktionen der BeIntelli-API,²⁵ etwa für die Lokalisierung verschiedener Fahrzeuge in der BeIntelli-Flotte, zum Auslesen von Road-Side-Sensoren und zum Finden freier Parkplätze in der Nähe von ZEKI.
- Ein Proxy-Agent, der Anfragen an zwei LLMs weiterleitet, die auf Fragen rund um die Berliner Verwaltung sowie auf die Zusammenfassung und Visualisierung historischer Daten, z.B. Verkehrsunfälle oder die vergangene Covid-Pandemie, spezialisiert sind.

²⁵ BeIntelli-API: <https://be-intelli.com/apis-und-sdks/>

Ein Test-Deployment des OPACA-System, der Werkzeuge und der oben genannten Anwendungen ist im ZEKI installiert (derzeit nur über das Intranet zugänglich), wo es ohne größere Unterbrechungen seit mehreren Monate für die Interaktion mit der Umgebung bereit steht, sowohl für Entwicklern als auch für Besuchern des ZEKI. In diesem Zusammenhang wurden folgende Beobachtungen gemacht:

- Entwickler, die mit dem Framework oder den Tools nicht vertraut waren, konnten neue Anwendungen schnell und korrekt implementieren und in das deployte System integrieren.
- Die Werkzeuge, insbesondere die LLM-UI, waren von Kollegen und Besuchern ohne jedes Training einfach zu bedienen.
- Der BPMN-Editor erforderte ein gewisses Verständnis der Notation (und, für ausführbare Prozesse, grundlegende Programmierkenntnisse), war aber ansonsten einfach und intuitiv zu verwenden.
- Die verschiedenen LLMs waren in der Lage, die verschiedenen Dienste im Test-Deployment zu „verstehen“ und mit ihnen zu arbeiten, ohne dass zusätzliches Training, Finetuning oder ausführliche Beispiele erforderlich waren.
- Der BPMN-Editor wurde erfolgreich dazu verwendet, um funktionierende und nützliche Prozesse für das BeIntelli-Projekt zu erstellen, die anderenfalls auf andere Weise hätten implementiert werden müssen.

Auch wenn dies noch keine vollständige und systematische Evaluation darstellt, zeigt es doch deutlich, wie vielfältig die Anwendungen sind, die mit dem KI-Framework und den KI-Tools erstellt werden können, und wie einfach sie auch von ungeschultem Personal genutzt werden können.

Übertragbarkeit

Um das OPACA-Framework und die OPACA-Tools in einer anderen Umgebung anzuwenden, müssten mehrere der Container für Reallabor-Anwendungen neu geschrieben – oder in manchen Fällen auch nur neu konfiguriert – werden, um der neuen Umgebung gerecht zu werden. Aufgrund der Sprachunabhängigkeit von OPACA und der Nutzung offener und etablierter Standards können neue Agentencontainer jedoch problemlos erstellt werden, indem entweder eine vorhandene API als Proxy verwendet (und mit der umfangreichen Selbstbeschreibung der Agenten und Aktionen von OPACA angereichert) oder der Dienst direkt in einem OPACA-Container in Java, Python, JavaScript oder einer anderen Sprache neu implementiert wird.

Das Framework und die Tools selbst können mit Docker-Compose schnell auf jedem System eingerichtet werden: Alle Komponenten enthalten eine Docker-Konfiguration, mit der sich ein eigenständiger Docker-Container dieser Komponente erstellen lässt, und alles zusammen in einer Docker-Compose Datei gestartet werden kann. Der LLM-Support kann verschiedene LLMs nutzen: Je nach Einstellung, Vertraulichkeit und lokal vorhandenen Rechenressourcen kann er entweder die GPT-Familie von OpenAI oder eine breite Palette selbstgehosteter Open-Source-Modelle wie LLAMA, Mistral und andere nutzen, indem vLLM²⁶ oder LiteLLM²⁷ als Proxy genutzt wird.

²⁶ vLLM: <https://github.com/vllm-project/vllm>

²⁷ LiteLLM: <https://www.litellm.ai>

Zusammenfassung

In diesem Bericht haben wir die ZEKI-Arbeitsumgebung, das integrierte Reallabor und die in diesem Zusammenhang entwickelten Anwendungen sowie das KI-Framework „OPACA“ und die dazugehörigen Werkzeuge beschrieben.

- Das ZEKI ist ein hoch-dynamischer und vielseitiger, an die TU Berlin angeschlossener Arbeitsbereich und Heimat des im Rahmen des Go-KI-Projekts entwickelten Reallabors; es umfasst mehrere innovative Konzepte und bietet eine Umgebung, in der KI-Forscher neue Anwendungen entwickeln und diese Anwendungen in ihrer täglichen Arbeit aus erster Hand erleben können.
- Die Anwendungen, die zumeist eine Hardware- und eine Softwarekomponente umfassen, reichen von kombinierten Sensor-Modulen bis hin zu smarten Möbeln, die sich automatisch an die Bedürfnisse der Nutzer anpassen; sie wurden teils von Studierenden des Studiengangs Ambient Assisted Living (AAL) der TU Berlin, teils direkt im Go-KI-Projekt entwickelt.
- Viele der Anwendungen wurden mit dem KI-Framework OPACA entwickelt oder in dieses integriert, wodurch Nutzer besonders einfach und einheitlich mit diesen interagieren oder sie zu komplexeren Anwendungen orchestrieren können.

Diese Aspekte machen das ZEKI und das Reallabor zu einem Beispiel dafür, wie eine Arbeitsumgebung der Zukunft aussehen könnte, die Digitalisierung und KI-Technologien nutzt, um Produktivität und Komfort zu verbessern. Die in diesem Bericht vorgestellten Werkzeuge und Anwendungen können als Vorlage dafür dienen, wie ähnliche Umgebungen eingerichtet werden können: Während die meisten Reallabor-Anwendungen mit Blick auf das ZEKI entwickelt wurden, zeigt dieser Bericht, wie sie für den Einsatz in einer anderen Umgebung angepasst werden können. Das OPACA-Framework und die Tools wurden von Anfang an so offen und vielseitig wie möglich gestaltet und unterstützen die Entwicklung und Integration ähnlicher Reallabor-Anwendungen und -Ressourcen in jeder Arbeitsumgebung.

Wir sind uns bewusst, dass jede Arbeitsumgebung anders ist: Das ZEKI ist ein offenes Konzept für kollaboratives und kreatives Arbeiten im Büro, während sich andere Arbeitsräume möglicherweise auf Einzelbüros konzentrieren, die meisten der im Projekt entwickelten Anwendungen jedoch weiterhin anwendbar wären. Auch andere Arbeitsbereiche wie Pflege (z. B. Krankenhäuser), Einzelhandel (z. B. Kaufhäuser) oder Dienstleistungen (z. B. Banken, Rechtsanwälte) könnten von einigen Anwendungen profitieren, während andere möglicherweise nicht geeignet sind. Andererseits erfordern Arbeitsplätze, an denen mehr händische Arbeit stattfindet (Werkstätten, Fabriken, landwirtschaftliche Betriebe), andere Anwendungen.

Referenzen

- Y. Pan, "Living Labs Contributions to Smart Cities from a Quadruple-Helix Perspective," Journal of Science Communication, 2023. DOI: 10.22323/2.22030202.
- T. Sasaki and H. Hashimoto, "Intelligent Space as a Platform for Human Observation," Human-Robot Interaction Conference, 2007. DOI: 10.5772/5199.
- G. Diraco, A. Leone, and P. Siciliano, "AI-Based Early Change Detection in Smart Living Environments," Sensors, 2019. DOI: 10.3390/S19163549.
- F. Rivera-Illingworth, V. Callaghan, and H. Hagaras, "Automated Discovery of Human Activities Inside Pervasive Living Spaces," International Symposium on Pervasive Computing and Applications, 2006. DOI: 10.1109/SPCA.2006.297520.
- H.-D. Bui and N. Y. Chong, "An Integrated Approach to Human-Robot-Smart Environment Interaction Interface for Ambient Assisted Living," Advanced Robotics and Its Social Impacts, 2018. DOI: 10.1109/ARSO.2018.8625821.
- D. Rodríguez and A. Natalia, "Semantic and Fuzzy Modelling for Human Behaviour Recognition in Smart Spaces," Dissertation, 2015.
- M. Vasileiadis, D. Giakoumis, K. Votis, and D. Tzovaras, "A Living Lab Infrastructure for Investigating Activity Monitoring Needs in Service Robot Applications," Pervasive Technologies Related to Assistive Environments, 2016. DOI: 10.1145/2910674.2935830.
- A. Braun, S. Rus, and M. Majewski, "Invisible Human Sensing in Smart Living Environments Using Capacitive Sensors," Springer Series on Ambient Intelligence, 2017. DOI: 10.1007/978-3-319-52322-4-3.
- T. Sasaki and H. Hashimoto, "Design and Implementation of Intelligent Space: A Component Based Approach," Book Chapter, 2010. DOI: 10.5772/8921.
- P. Malik, "The Integration of Natural Language Processing (NLP) in Human-Robot Interaction (HRI)," Indian Scientific Journal of Research in Engineering and Management, 2024. DOI: 10.55041/ijsrem35803.
- S. Rezwan, W. Ahmed, M. A. Mahia, and M. R. Islam, "IoT Based Smart Inventory Management System for Kitchen," International Conference Advances Computing, Communication and Automation, 2018. DOI: 10.1109/ICACCAF.2018.8776761.
- Z. Qiu, M. Ashour, X. Zhou, and S. Kalantari, "NavMarkAR: A Landmark-based Augmented Reality (AR) Wayfinding System," arXiv.org, 2023. DOI: 10.48550/arxiv.2311.12220.
- B. Prueksanusak, P. Rujivipatand, and K. Wongpatikaseree, "An Ergonomic Chair with Internet of Thing Technology using SVM," Proceedings Article, 2019. DOI: 10.1109/TIMES-ICON47539.2019.9024488.

- T. B. Brown, B. Mann, N. Ryder, et al., "Language Models are Few-Shot Learners," arXiv preprint arXiv:2005.14165, 2020.
- OpenAI, "Rate limits and API integration," Retrieved from: <https://platform.openai.com/docs/guides/rate-limits>, 2023.
- D. Hasiwar, A. Gruber, C. Dragschitz, and I. Ivkic, "Towards a Cloud-based Smart Office Solution for Shared Workplace Individualization," arXiv.org, 2024. DOI: 10.48550/arxiv.2403.18883.
- A. Joshi, S. T., T. M., J. Singh, and D. P., "IOT Based Smart Plant Monitoring System," International Journal for Research in Applied Science and Engineering Technology, 2024. DOI: 10.22214/ijraset.2024.58953.
- T. Cheng, Y. Liu, and X. Zhang, "YOLO-World: Real-Time Open-Vocabulary Object Detection," arXiv preprint arXiv:2401.17270, 2024.
- P. Follmann, R. König, P. Haubner, and M. Ulrich, "MVTec D2S: Densely Segmented Supermarket Dataset," arXiv preprint arXiv:1804.08292, 2018.
- V. Guimarães, H. Tan, and A. Costa, "A Review of Recent Advances and Challenges in Grocery Label Detection and Recognition," Applied Sciences, vol. 13, no. 5, 2023. DOI: 10.3390/app13052871.
- T. Schulz, P. Babakhani, M. Heine, F. Harms, M. G. Augusto, and S. Albayrak, "GGAS: Ground Guiding Assistant System for Interactive Indoor Wayfinding," in Proceedings of the 14th International Conference on Indoor Positioning and Indoor Navigation (IPIN), 2024.
- Y. Xu, H. Wang, and J. Tan, "Augmented Reality for Indoor Wayfinding: A Systematic Review of Techniques and Applications," in IEEE Transactions on Visualization and Computer Graphics, vol. 30, no. 2, 2024, pp. 1234-1248.
- L. Zhao, C. Guo, and J. Liu, "NaviLight: Indoor Localization and Navigation Framework Using Visible Light," in IEEE Sensors Journal, vol. 17, no. 8, 2017, pp. 2508-2515.
- J. Kim and H. Park, "IoT-based Smart Chair for Personalized Ergonomic Monitoring," in Journal of Industrial Ergonomics, vol. 32, no. 4, 2018, pp. 367-375.
- A. Gupta, M. Ramesh, and K. Chandrasekaran, "Sensor-Driven Air Quality Monitoring Systems for Smart Environments," in IEEE Sensors Journal, vol. 23, no. 2, 2023, pp. 234-245.
- N. D. Gilson, M. Pratt, B. E. Hurst, L. E. Straker, and N. D. Ridgers, "Occupational sitting time: employees' perceptions of health risks and intervention strategies," Health Promotion Journal of Australia, vol. 22, no. 1, pp. 38-43, 2011.
- B. Kundaliya, M. Sharma, and P. Kumar, "An IoT and Cloud Enabled Smart Chair for Detection and Notification of Wrong Seating Posture," Preprint. Research Square, accessed Nov. 1, 2023.

- T. V. D. Voordt and P. A. Jensen, "The impact of healthy workplaces on employee satisfaction, productivity and costs," *Journal of Corporate Real Estate*, vol. 25, no. 1, pp. 29–49, 2023.
- A. Aryal, B. Becerik-Gerber, F. Anselmo, S. C. Roll, and G. M. Lucas, "Smart Desks to Promote Comfort, Health, and Productivity in Offices: A Vision for Future Workplaces," *Frontiers in Built Environment*, vol. 5, p. 76, 2019.
- K. Obaideen et al., "An overview of smart irrigation systems using IoT," *Energy Nexus*, vol. 7, pp. 100124, 2022. [Online]. Available: 10.1016/j.nexus.2022.100124
- A. Gebhart, Oso Technologies PlantLink review: This simple sensor will give your plant a voice, 2014.
- Smith, J., Brown, A., and Lee, K. "Improving Autonomy and Natural Interaction of Pepper Robot via Large Language Models." *Research Square*, 2024. DOI: 10.21203/rs.3.rs-3997840
- Jones, R., Patel, S., and Kim, H. "An Exploration of the Pepper Robot's Capabilities: Unveiling Its Potential." *Applied Sciences*, vol. 14, no. 1, pp. 1010-1020, 2023.
- Cheng, Wei, Zhao, Ling, Sun, Xuan, "YOLO-World: Enhancing Real-Time Object Detection for Everyday Applications," *IEEE Transactions on Neural Networks and Learning Systems*, vol. 35, no. 4, pp. 1234--1248, 2024.
- Smith, John, Taylor, Emma, "LUNA: A Multilingual Voice Assistant for Smart Home Applications," *Journal of Artificial Intelligence and Smart Systems*, vol. 18, no. 2, pp. 99--110, 2023.
- Khaled Obaideen, Bashria A.A. Yousef, Maryam Nooman Al Mallahi, Yong Chai Tan, Montaser Mahmoud, Hadi Jaber, Mohamad Ramadan: An overview of smart irrigation systems using IoT, *Energy Nexus*, Volume 7, 2022, 100124, ISSN 2772-4271, 10.1016/j.nexus.2022.100124.
- Garcia, Andrea, Kumar, Ravi, Huang, Mei, "Whisper AI: Scalable Multilingual Transcription Models," *Computational Linguistics Journal*, vol. 30, no. 3, pp. 455--470, 2022.
- Aryal, A., Ghahramani, A., Becerik-Gerber, B., and Zhu, Y. (2019). Monitoring and improving workspace environment using IoT and machine learning. *Building and Environment*, 157, 231-239.
- Hedayati, M., and Dahlan, H. M. (2019). Ergonomic adjustable desk with integrated monitoring system. *International Journal of Occupational Safety and Ergonomics*, 25(4), 491-503.
- Johnson, D., and Burke, K. (2020). Enhancing workplace ergonomics with smart furniture: A review of technology integration. *Applied Ergonomics*, 85, 103-112.
- Kim, J., Park, S., and Kang, H. (2019). Development of a smart office desk with personalized features for shared spaces. *Journal of Intelligent Manufacturing*, 30(5), 1103-1115.

- Chen, Z., Wang, X., and Li, J. (2021). Ergonomic smart desks for workplace wellness: Integrating environmental monitoring and height-adjustment systems. *Journal of Workplace Health Management*, 14(3), 211-225.
- B. Acar et al., "OPACA: Toward an Open, Language- and Platform-Independent API for Containerized Agents," in *IEEE Access*, vol. 12, pp. 10012-10022, 2024, doi: 10.1109/ACCESS.2024.3353613.
- C. Rakow, "A framework for simulating mobility services in large scale agent-based transportation systems", *Proc. 2019 Summer Simulation Conf.*, 2019.
- OMG, "Business Process Model and Notation (BPMN), Version 2.0," Object Management Group, Tech. Rep., 2011. [Online]. Available: <http://www.omg.org/spec/BPMN/2.0>
- T. Küster, A. Heßler, and S. Albayrak, "Process-oriented modelling, creation, and interpretation of multi-agent systems," *Int. J. Agent-Oriented Software Engineering*, vol. 5, no. 2/3, pp. 108–133, 2016.
- Y. Song, W. Xiong, D. Zhu, W. Wu, H. Qian, M. Song, H. Huang, C. Li, K. Wang, R. Yao et al., "RestGPT: Connecting large language models with real-world restful APIs," *arXiv preprint arXiv:2306.06624*, 2023.