

# Abschlussbericht

**OmniConnect** Multiple Vernetzung von Alltagsgegenständen im Smart Home  
Teilvorhaben: Projektleitung und Mensch-Maschine-Interaktion

Förderkennzeichen 16SV8307

**Datum**

31.08.2023

**Autoren\*innen**

Thomas Jürgensohn  
Astrid Oehme  
Sandra Böhm  
Philipp Kotsch  
Silvio Tristram

# Inhalt

1	KURZE DARSTELLUNG .....	3
1.1	Zielsetzung und Aufgabenstellung .....	3
1.2	Voraussetzungen .....	4
1.3	Planung und Ablauf des Vorhabens .....	4
1.4	Wissenschaftlicher und technischer Stand bei Start des Vorhabens .....	8
2	EINGEHENDE DARSTELLUNG .....	12
2.1	Ergebnisse des Vorhabens .....	12
2.2	Nutzen und Verwertbarkeit .....	29
2.3	Fortschritt Dritter .....	29
2.4	Veröffentlichungen .....	29

# 1 Kurze Darstellung

## 1.1 Zielsetzung und Aufgabenstellung

In dem Projekt wurde ein Verfahren entwickelt, das die Ertüchtigung von **normalen Alltagsgegenständen** zu Objekten mit **IOT**-Charakter allgemeingültig und leicht durchführbar ermöglicht. Obwohl das Thema „smart home“ wissenschaftlich schon seit über 30 Jahren verfolgt wird [1], werden kommerzielle Produkte erst seit ca. 15 Jahren in nennenswertem Umfang entwickelt. Erste Demonstrationen gab es 2005 in dem Haus der Gegenwart anlässlich der Bundesgartenschau oder in einigen Living Labs wie dem IDEAAL Seniorenappartement des OFFIS e. V. aus Oldenburg [2]. Inzwischen gibt es zahlreiche Produkte aus dem Bereich Heizung, Lüftung, Elektrik, Media, Licht, Sicherheit, Zutritt, die teilweise vollständig vernetzt von zentraler Stelle oder auch remote steuerbar sind.

Damit diese Vernetzung möglich wird, benötigen alle Geräte eine Stromversorgung – in der Regel über eine direkte Anbindung an das häusliche Stromnetz. Bei Lichtsteuerungen oder bei Smart-home-Ansätzen mit weißer Ware wie Waschmaschinen oder Kühlschränken ist dies kein Problem. Aber in einigen Fällen – insbesondere bei Nachrüstungen – muss auf die Versorgung mit Batterien zurückgegriffen werden. Dies erfordert unweigerlich einen regelmäßigen Austausch. Nur wenn die Zahl der vernetzten Geräte gering ist, ist dieser regelmäßige Batteriewechsel praktisch noch handhabbar. Im Zuge der Ausweitung auf weitere Vernetzung von Objekten (Internet of Things) des Alltags müssen im häuslichen Umfeld deshalb – im Gegensatz zu industriellen Anwendungen – andere Wege gegangen werden.

Ohne Stromversorgung können Informationen von Objekten empfangen werden, wenn diese mit elektronischen Strukturen ausgerüstet sind, die ihre Energie aus einer elektromagnetischen Anregung ableiten können. Bekannt sind RFID-Transponder (Tags), die allerdings den Nachteil haben, dass ein Auslesen der Informationen eine relative Nähe (ca. 50 cm) zum Tag erfordert. Im Projekt wurde dieses Grundprinzip der Identifikation von Objekten mit passiven Tags durch den Übergang zu neuartigen 60-GHz-Sekundär-Radar-Systemen (siehe [3]) aufgegriffen und mit einer Ortungsfunktionalität über Antennenarrays erweitert. Dabei funktioniert dieses System ähnlich wie RFID. Eine elektromagnetische Welle wird vom Radarsystem ausgesendet und von den Tags empfangen. Das Signal wird durch einen steuerbaren Abschlusswiderstand verändert und wieder an das Radarsystem zurückgeschickt. Durch die Analyse der Signale des Radarsystems können schließlich die getagten Objekte ihrer Position zugeordnet werden. Wegen der hohen Frequenz sind die zugehörigen Tags sehr klein (typisch 1 cm<sup>2</sup>) und können beispielsweise auf einem flexiblen Träger in eine textile Matrix integriert werden (Abbildung 1).

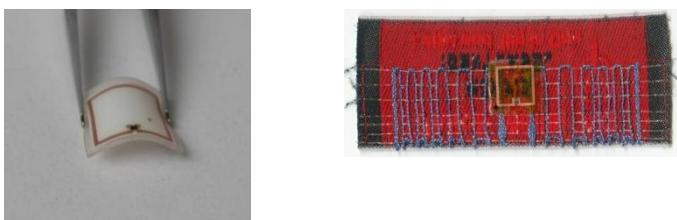


Abbildung 1: Flexibles Tag (links) eingenäht in Textil (rechts)

Mit dieser Technologie sollte es möglich sein, Objekte mit einer Genauigkeit von ca. 5 cm im Raum zu orten und darüber hinaus deren Identität (eindeutige ID) zu erfassen. Über eine lückenlose

Ortserfassung wären dadurch die Bewegungstrajektorien und der aktuelle Ort der mit den Tags bestückten Objekte bekannt. Aufgabe des Projektes war es, solch ein Ortungssystem zu entwickeln und im Umfeld der Wohnungsüberwachung bei der Überwachung pflegebedürftiger Älterer einzusetzen.

## 1.2 Voraussetzungen

Das Forschungsvorhaben war mit einer Laufzeit von 36 Monaten mit den Konsortialpartnern Fraunhofer IZM aus Berlin, die Netzwerker AG aus Berlin und dem OFFIS e.V. aus Oldenburg geplant. Zu dem Fraunhofer IZM und dem OFFIS gab es schon im Vorfeld wissenschaftliche Kontakte und Projektkooperationen, die eine gute Zusammenarbeit erwarteten ließ. Die Konsortialführung hatte die HFC Human-Factors-Consult GmbH inne.

## 1.3 Planung und Ablauf des Vorhabens

Die Planung des Vorhabens entsprach im Wesentlichen den Inhalten, wie sie in der Projektskizze, der GVB und TVB zu Beginn des Vorhabens festgehalten wurden. Bedingt durch die COVID-19-Pandemie zur Laufzeit des Vorhabens kam es zu Verzögerungen – insbesondere bei den hardwarelastigen Arbeitspaketen des Partners IZM. Das hatte einerseits eine kostenneutrale Verlängerung des Projektes zur Folge, andererseits konnten die Feldtests zur Erprobung des Systems nicht in der geplanten Weise durchgeführt werden. Die technologischen Arbeitsziele des Teilvorhabens konnten dennoch im vollen Umfang umgesetzt werden. Für die geplanten Feldtests des Gesamtsystems mit Probanden wurden Ersatztests mit den im Projekt entwickelten Teilsystemen durchgeführt.

Tabelle 1 gibt einen Überblick über die bearbeiteten Arbeitspakete des Teilvorhabens.

Tabelle 1: Übersicht über die bearbeiteten Arbeitspakete und Aufwände

AP	Inhalt
<b>AP0</b>	<b>Projektmanagement und Qualitätskontrolle</b>
Durchführung der Koordinationsaufgaben	Dokumentation und Berichterstattung sowie Aufbereitung der Erkenntnisse als Best-Practice-Beispiele
Qualitätskontrolle	Zusammenarbeit mit allen Partnern und Kontrolle der Einhaltung der Projektziele
<b>AP1</b>	<b>Gesamtsystem, Requirements, ELSI</b>
1.1	Gemeinsame Erarbeitung der finalen funktionalen Spezifikation aller Komponenten
	Vorbereitung, Durchführung und Auswertung eines gemeinsamen mehrtägigen Workshops, in dem die Spezifikation des Gesamtsystems abgeleitet wurde.
1.2	Erarbeitung der Lösungskonzepte (Pflichtenheft)
	Entwicklung von Lösungen einschließlich der Architektur und angestrebten Funktionsweise des technischen Gesamtsystems. Festlegung der Systemkomponenten und deren Zusammenwirken, ihrer Funktionen und deren zugehöriger Realisierungskonzepte sowie der Kommunikationswege und -protokolle zwischen den Systemkomponenten. Als Grundlage für die Hardwareentwicklung wurde auch ein erstes Konzept zur Realisierung der Komponenten erstellt

1.3	Erarbeitung der Testszenarien	Planung der rein technischen Funktionstests und Tests mit Probanden zur Erprobung des Gesamtsystems
1.4	Bearbeitung der Datenschutzproblematik	In Abstimmung mit den Projektpartnern wurde ein Datenschutzkonzept für die Projektlaufzeit sowie für die Studienphase erstellt. Es wurden die Datenflüsse sowie deren Schutzniveau beschrieben. Entsprechende Informationsmaterialien für Probanden wurden erstellt.
1.6	Bearbeitung ethischer Fragestellungen	In einem mehrteiligen Online-Workshop wurden mit allen beteiligten Projektpartnern die ethischen Belange erarbeitet, die das OmniConnect-System betreffen.
<b>AP2 Zusammenarbeit mit Living Lab</b>		
2.2	Konzeption und Durchführung von Nutzerstudien	In erster Linie wurden Konzepte für eine mögliche standortübergreifende oder projektübergreifende aber standortgebundene Studie erstellt. Diese sollten in Zusammenarbeit mit anderen Projekten oder dem Living Lab durchgeführt werden. Die Planungen konnten dann später wegen der COVID-Pandemie nicht praktisch umgesetzt werden.
2.3	Durchführung von projektübergreifenden Workshops	Zusammen mit OFFIS wurden Planungen für Workshops mit anderen Projekten durchgeführt.
<b>AP7 Nutzerschnittstellen</b>		
7.1	Konzeptentwicklung einer akustischen Steuerung von Ortsanfragen	In Verbindung mit Nutzerbefragungen mit potentiellen Nutzern verschiedener Altersklassen wurden Konzepte für Dialoge mit Sprachsteuersystemen entwickelt. Als System wurde hierbei auf Rhasspy gesetzt welches seine Resultate via websocket an eine Node-RED Instanz weitergab. Diese stellte MQTT Anfragen an die Datenbank um eine akustische Antwort an den Nutzer auszugeben.
7.2	Konzeptentwicklung von Ortsanfrage über Smartphone	Über eine Webapplikation können mit dem Smartphone oder anderen Endgeräten ähnliche Anfrage wie in AP7.1 gestellt werden. In diesem AP wurde die grafische Benutzeroberfläche mit der entsprechenden Benutzerführung und verschiedenen Ansichten (wie z.B. Listen mit Statusmeldungen der Tags, schematisierte Grundrissdarstellungen und Checklisten für definierte Aufgaben) entwickelt.
7.3	Entwicklung Software für akustischen Steuerung von Ortsanfragen	Die in AP 7.1. geplanten akustischen Schnittstellen wurden in diesem AP umgesetzt. Im Einzelnen wurden folgende Frameworks eingesetzt: Raspberry Pi 4 mit Rhasspy (kaldi, fuzzywuzzy, websocket) und Node-RED (websocket, MQTT, pico2wave)
7.4	Entwicklung Software Ortsanfrage über Smartphone	Die in AP 7.2. geplante grafische Schnittstelle wurde in diesem AP umgesetzt. Dabei wurde vorwiegend das Javascript-Framework vue.js eingesetzt und für die Kommunikation und Datenübertragung das MQTT-Protokoll verwendet.
7.5.	Labortests der Nutzerschnittstellen	In Nutzertests in Laboren von HFC wurden die Schnittstellen zu dem Server des Partners OFFICE aufgebaut und evaluiert. Die Schnittstellen wurden hinsichtlich ihrer Benutzbarkeit mit Probanden*innen in mehreren Studien evaluiert.

AP9 Evaluierung, Probandentests im Testfeld	
9.1	Entwicklung von Testszenarien
9.4	Durchführung Probandentests
9.5	Evaluation im Labortest
9.6	Auswertung der Tests und Bewertung

Das Radarsystem wurde innerhalb des Projektes in Form einer Lampe ausgestaltet und wird über eine WiFi-Verbindung mit einem Server und andere Sensorsystem verbunden. Der Aufbau ist schematisch in Abbildung 2 dargestellt. Das System wurde halbkugelförmig mit einem Durchmesser von 500mm aufgebaut. Zwischen den Teilanntenbereichen wurden LED positioniert, welche über die Elektronik gesteuert werden können. Das Radarsystem bekommt dadurch den Charakter einer Leuchte mit „besonderen“ Eigenschaften.

In dem Projekt sollten mehrere Use-Cases für unterschiedliche Anwendungen im Homebereich erprobt werden. Eine Anwendung ist die Registrierung von Kleidung und ihre Lokalisierung. Damit können Be-

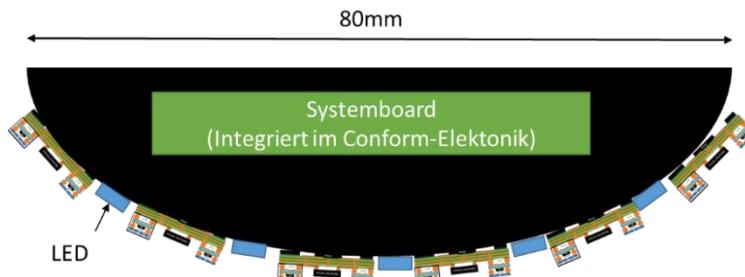


Abbildung 2: Aufbau des Radarknoten als modifizierte „Deckenlampe“

wegungsdaten von Personen, die diese Kleidung tragen, erfasst werden. Die erreichbare Genauigkeit ist wesentlich höher als bei den bekannten Systemen, was eine viel präzisere Ableitung von Automatismen für die Steuerung im Smart-Home-Bereich erlaubt. Der Raum der erfassbaren Handlungskontexte der Bewohner ist dadurch wesentlich erweitert. Relativ leicht realisierbar ist beispielsweise eine Sturzerkennung. Eine andere Anwendung ist die Überwachung von dementen Mitbewohnern, die häufig den Hang haben, die Wohnung zu verlassen und dann häufig nicht mehr zurückfinden. Aber auch andere Bewegungsmuster wie das Setzen auf ein Sofa mit

automatischem Anschalten der Leselampe (bei gleichzeitiger Auswertung der Helligkeit im Raum) sind leicht realisierbar.

Die Tags sind auch auf andere bewegliche Dinge des Haushaltes übertragbar. Beispiele sind Schlüsselbünde, Fernbedienungen, Autoschlüssel, Brillen. Im Projekt sollten entsprechende Use-Cases bearbeitet und neue im Dialog mit Nutzern entwickelt werden. Mit einer entsprechenden Nutzerunterstützung ist das Finden dieser häufig verlegten Gegenstände wesentlich erleichtert. Aber auch der Status eines Fensters (gekippt, offen) oder einer Tür (offen, geschlossen) ließe sich damit leicht registrieren. Mit letzterem sind ohne Mehraufwand auch Sicherheitsanwendungen realisierbar. Generell ist die Technologie für alle beweglichen Objekte im Haushalt, deren aktueller Ort oder Bewegungsstatus von Interesse sind, anwendbar. Gegenüber den bestehenden Lösungen liegt hier der große Vorteil darin, dass die Gegenstände nur mit den Tags versehen werden müssen, was über Einnähen, Bekleben, o.ä. möglich ist. Mit der entwickelten Technologie können Daten abgeleitet werden, die die Auswertung mit Methoden der künstlichen Intelligenz erlaubt. Weil die Berechnungsalgorithmen nicht lokal auf den Objekten durchgeführt werden müssen, können mächtigere Verfahren eingesetzt werden. Wie in der Ausschreibung gefordert, werden während des gesamten Projektes Nutzer mit eingebunden und rechtliche sowie ethische Fragen bearbeitet.

Im Projekt OmniConnect wurde die gesamte Entwicklungskette von der Entwicklung der notwendigen Radartechnologie über die Realisierung der softwareseitigen Vernetzung bis hin zur Schnittstelle zum Nutzer realisiert. Zu allen Stadien des Projektes wurden Nutzer über Fokusgruppen, Labortests oder Feldtests eingebunden. Die ursprünglich in dem Home-Labor des Partners OFFIS (Abbildung 3) geplanten Feldtest konnten wegen der COVID19-Pandemie nicht durchgeführt werden. Stattdessen wurden Tests in den Räumen von HFC durchgeführt.

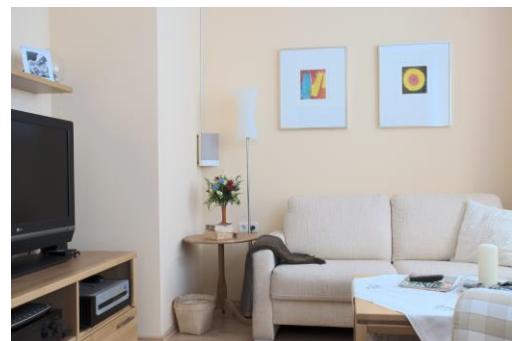


Abbildung 3: Küche und Wohnzimmer aus dem IDEAAL-Labor des Partners OFFIS

## 1.4 Wissenschaftlicher und technischer Stand bei Start des Vorhabens

### Hausautomation

Die Hausautomation fokussiert als Teilbereich der Gebäudeautomation insbesondere auf die Gegebenheiten privater Wohnumgebungen und die speziellen Bedarfe der Bewohner. Die Einsatzgebiete der Sensoren und Aktoren liegen hierbei vorwiegend in den Bereichen Beleuchtung, Verschattung und HLK-Regelung (Heizung, Lüftung, Klima), im Schutz von Personen und Besitz vor böser Absicht, Unachtsamkeit und höherer Gewalt sowie in der Energieeinsparung. Die existierenden Systeme lassen sich grob in festverdrahtete oder funkbasierte Lösungen unterscheiden. Im ersten Fall erfolgt die Kommunikation kabelgebunden über einen Bus. Als Standards hierfür sind u. a. KNX, LonWorks und BACnet zu nennen. Im Falle von funkbasierten Lösungen sind keine baulichen Eingriffe bei der Installation erforderlich, sodass sich diese Lösungen für Bestandswohnungen eignen. Auch die höhere Flexibilität bezüglich der Platzierung von Sensoren und Aktoren sowie der Erweiterung des Systems spricht für die funkbasierte Variante. Verbreitete Funkstandards sind ZigBee, Z-Wave, EnOcean und KNX RF. Daneben haben sich weitere herstellerspezifische Funklösungen im Markt etabliert. Hierzu zählen u. a. das FS20-Funkschaltsystem und HomeMatic, beide von der Firma eQ-3, sowie Gira Funkbus und Moeller Xcomfort. Darüber hinaus zu nennen ist die aus dem E-Energy-Bereich stammende EEBus-Initiative (<http://www.eibus.org>), die eine einheitliche, XML-basierte Schnittstelle für den Zugriff auf Komponenten der Hausautomation über verschiedene Standards definiert.

### Sensorfusion und Bewegungsschätzung

Die Sensorfusion bezeichnet Methoden, in denen durch die Berücksichtigung mehrerer Sensormodalitäten Informationen gewonnen werden können, die über den Informationsgehalt der separaten Sensordaten hinausgehen. Als Paradebeispiel können hier rekursive bayessche Filter [4] genannt werden. Generell werden hier keine Vorhersagen getroffen oder komplexe Modelle ermittelt, sondern momentane Zustände geschätzt. Dies können zum Beispiel Position, Orientierung, Geschwindigkeit und Beschleunigung sein.

Einschlägige Verfahren für die Bewegungsschätzung sind Kalman Filter, wie sie zum Beispiel im Projekt SIRKA („Sensoranzug zur individuellen Rückmeldung körperlicher Aktivität“, gefördert durch das BMBF mit Beteiligung des Projektpartners OFFIS) zum Einsatz kamen [5]. Sogenannte Fixed-Lag-Smoothing-Methoden basieren auf numerischer Optimierung, können aber besser nichtlineare Zustände schätzen als Kalman Filter. Hierfür benötigte Sensordaten werden in der Regel aber durch Inertialsensoren aufgenommen, die am Körper getragen werden [6]. Traditionelle Motion-Capture-Verfahren, wie sie in der Filmindustrie verwendet werden, benutzen optische Marker, die an bestimmten Stellen des Körpers angebracht werden müssen. Im Kontext des vorgeschlagenen Projekts wurden neuartige Methoden entwickelt, die weit über den momentanen Stand der Technik hinaus gehen.

## Bewegungs- und Verhaltensmodellierung

Die Modellierung von Haltungen, Bewegungsabläufen und Verhaltensmustern basiert auf vielen kurz- oder langfristigen Beobachtungen von Menschen. Diese können über viele verschiedene Sensormodalitäten erhoben werden. Die gewonnenen Daten müssen mit dem Ziel der Schätzung von Modellparametern mit Sensorfusionsmethoden vorverarbeitet werden.

Haltungs- und Bewegungsanalyse beschränkt sich bisher auf kleinere Zeithorizonte der Beobachtung. Ergonomische Assessments wären ein Beispiel der Haltungsanalyse. Dies geschieht oft auf Grund von empirischen Modellen aus der Arbeitsmedizin. Die aus der Sensorfusion errechneten Haltungen werden dann mit Hilfe des Modells evaluiert. Ein weiterer wichtiger Anwendungsfall der Bewegungsanalyse mit großer Relevanz für das häusliche Leben ist die Sturzerkennung [8], die auch mit bildgebenden Radarsensoren erreicht werden kann. Dies ist allerdings nicht Hintergrund dieses Projekts, da hier hochfrequente Signale im Radarbereich zur Lokalisierung benutzt werden, aber nicht zur Bildgebung.

Verhaltensmodellierung und Intentionsvorhersagen auf diskreten Modellen werden schon seit einiger Zeit erforscht [9]. Im Projekt LivingCare (gefördert durch das BMBF, OFFIS war Partner) konnten Bewegungs- sowie darauf aufbauende Verhaltensmuster für die Heimautomation umgesetzt werden [10]. Unter anderem können mit sehr kleinem Aufwand ohne Kameras die Personenzahl pro Raum sowie deren Bewegungsmuster in der Wohnung ermittelt werden [11] (Forschungsergebnis des Projekts LivingCare).

## Radartechnologie

Die Radartechnologie wurde in dem Projekt für zwei verschiedene Funktionalitäten angewendet. Zum einen wurde mit dem Radar (Primär-Radar) die Umgebung analysiert, insbesondere hinsichtlich Bewegung und Reaktion. Zusätzlich wurde das System über ein Sekundär-Radar in Verbindung mit passiven Tags mit einer Ortungsfunktion ergänzt. Beide in dieser Kombination gehen die Entwicklungen weit über den Stand der Technik hinaus.

**Erfassung der Umgebung:** Für die Erfassung der Umgebung im Home-Automatisierungsbereich werden typischerweise optische Sensoren (z.B. Kamera-Systeme, TOF oder bei speziellen Anwendung LIDAR-Systeme) eingesetzt. Die optischen Sensoren haben den Vorteil, dass sie im Vergleich zum Radarsensor eine höhere Auflösung haben. Kamerasysteme sind jedoch von der Umgebungsbeleuchtung abhängig, die stark durch die Sonneneinstrahlung beeinflusst wird.

LIDAR-Systeme (**light detection and ranging**) sind ebenfalls stark empfindlich auf Umweltbedingungen wie zum Beispiel Staub, Regen und Schnee. Als weitere Hemmnisse für den Einsatz in der Home-Automatisierung zeigen sich der Preis und die Nichtverfügbarkeit von kleinen und leistungsstarken Systemen, welche derzeit im Vergleich zu den Kosten von Radar-Systemen noch ungefähr um einen Faktor vier höher liegen [13]. Die Radar-Technologie bietet daher in einigen Anwendungen deutliche Vorteile gegenüber der LIDAR-Technologie.

Kostengünstige Radar-Schaltkreise im 77 GHz Frequenzbereich sind durch die kommerzielle Verbreitung im Automotive-Bereich auf dem Markt verfügbar. Kamen noch vor 10 Jahren Schaltkreise auf Basis von GaAs zum Einsatz, werden heute überwiegend Schaltkreise auf Basis der

SiGe-Technologie verwendet (Infineon). Inzwischen gibt es aber auch CMOS-Schaltkreise, die durch das MIMO-Prinzip (multiple input multiple output) mit mehreren Antennen nicht nur eine Abstands- und Geschwindigkeitsmessung, sondern auch eine Winkelabschätzung erlauben (TI). Für Frequenzen im 60 GHz-Bereich sind geeignete MMICs von Silicon Radar verfügbar. Diese MMICs lassen sich durch geeignete Außenbeschaltung auch für breitbandige Radarapplikationen nutzen. Das Prinzip des MIMO-Antennen-Designs ist inzwischen gut etabliert. Für den Einsatz im Nahbereich, wie er im Wohnumfeld mit seinen Mehrfachreflexionen zu erwarten war, musste das Antennendesign jedoch angepasst und getestet werden.

MIMO-Architekturen (Verwendung mehrerer Sender und mehrerer Empfänger in einem Gerät) finden seit einigen Jahren in der Nachrichtentechnik Anwendung und werden eingesetzt, um die spektrale Effizienz zu erhöhen und die Bitfehlerrate zu reduzieren. In der Radartechnik wurde das Prinzip übernommen, um die laterale Auflösung bei moderat gehaltenem Hardware-Aufwand zu erhöhen. Neben der Realisierung der angestrebten Winkelauflösung werden mit den MIMO-Algorithmen durch die virtuelle Fokussierung die Empfängerempfindlichkeit und damit die Reichweite erhöht.

**Ortung:** Ausgehend von der klassischen Sensornetz-Architektur sind verschiedene Ortungsmethoden realisierbar, welche heute schon für Home-Automatisierungsanwendung bekannt sind. Dabei wird in der Regel bei Sensornetzwerken auf den RSSI-Wert (Received Signal Strength Indicator) zurückgegriffen. In [12] wird die Schwäche (Ortungsgenauigkeit im Bereich von mehreren Metern) dieses Ansatzes dargestellt und festgestellt, dass die Genauigkeit für den Bereich des IoT/ Smart Home nicht ausreicht. Heute werden solche Aufgaben durch zusätzliche optische Sensoren (Lichtsensor/TOF/ Kamera) gelöst. Das hat aber zur Folge, dass die zusätzlichen Sensoren immer an bestimmten kalibrierten Positionen präpariert werden müssen. Für die Anwendung im Bereich der Home-Automatisierung in größeren Räumen/Gebäuden mussten neuartige Lösungen gefunden werden. Eine Möglichkeit, welche innerhalb des Projektes verfolgt wurde, ist das sogenannte Sekundär-Radar. Dieser Radartyp wird zum Beispiel bei der Flugraumüberwachung eingesetzt, da es im Vergleich zum Primär Radar auch eine Rückantwort der Objekte erfassen kann. Die Objekte sind somit nicht nur passiv an der Ortung beteiligt, sondern können sich auch gegenüber dem Radar identifizieren. Ein als Sekundär Radar ausgeführter Sensor kann also nicht nur die Umgebung überwachen und Objekte lokalisieren, sondern sie auch basierend auf einer Rückantwort klassifizieren.

Die Firma Symeo, das Fraunhofer IZM, sowie weitere Partner arbeiten in dem aktuell laufenden BMBF-Förderprojekt "NaLoSysPro" an der Entwicklung eines auf Sekundär-Radar basierten Lokalisationsystems für die Automatisierungstechnik im Frequenzbereich 24GHz. Bei diesem Projekt geht es aber um die automatische Positionierung eines Werkszeugs im Bereich von Industrie 4.0. Als Radarziel für das Sekundär-Radar werden in der Regel aktive Radar-Systeme verwendet. Alle diese Systeme brauchen eine Batterie, welche kurze Strom-Impulse (in ns) bis zu 100 mA abfangen können. Aus dem Grund sind solche Systeme von den Abmessungen auch immer durch ihre Batteriegröße limitiert.

Eine zweite Art eines Typs des Sekundärradars ist eine passive Rückstrahlung über durch Geometrie verstellbare Antennen, die eine spezifische Frequenzsignatur zurückwerfen. Diese Variante wurde dann schließlich für das Projekt ausgewählt.

### Conformable Electronics

Um dreidimensionale Oberflächen mit Funktionen zu versehen, muss die Elektronik direkt dort integriert sein. Auch flexible Schaltungen können dem nicht vollständig gerecht werden. Sie sind ausgelegt auf Biegen und Falten von Leiterzügen um eine einzige Achse. Eine Kugeloberfläche beispielsweise lässt sich mit einer flächig ausgelegten Flex-Schaltung nicht faltenfrei abdecken.

Für die neuartigen Anwendungsprofile und die sich daraus abgeleiteten technischen Anforderungen hat sich der zusammenfassende Begriff „Conformable Electronics“ etabliert. Die Herstellungs- bzw. Produktkonzepte umfassen elektronische Systeme auf polymeren oder textilen Schaltungsträgern, die sich ein- oder mehrfach um deutlich mehr als 5 % dehnen lassen und damit eine faltenfreie Überdeckung von dreidimensionalen Freiformflächen erlauben.

Ein wichtiger Gesichtspunkt der Conformable Electronics ist die Aufbautechnologie. Der Begriff (conformable) selbst beinhaltet, dass es sich in erster Linie um formbare, also nicht von vornherein dreidimensional aufgebaute Elektronik handelt (ein Ansatz der beispielsweise in der MID-Technologie verfolgt wird). Beim Aufbau von Conformable Electronics wird weitgehend auf etablierte zweidimensionale Prozesstechnologien zum Aufbau der Schaltungsträger (Leiterplatte) sowie zur Komponentenmontage wie sie sich in den letzten Jahrzehnten etabliert hat, zurückgegriffen. Damit werden Conformable Electronics hergestellt wie konventionelle elektronische Systeme und entfalten ihre über die starre und flexible Leiterplatte hinausgehenden Eigenschaften erst im letzten Fabrikationsschritt (Verformung) oder in der Anwendung (z. B. als weiches elektronisches Pflaster).

- [1] Jürgen Kohlhoff, Smart Home, Europäische Sicherheit & Technik, 2/2016.
- [2]. Institut für Innovation und Technik Smart Home in Deutschland, ISBN 978-3-89750-165-2, 2010
- [3] P. Pursula, F. Donzelli and H. Seppa, "Passive RFID at Millimeter Waves," in IEEE Transactions on Microwave Theory and Techniques, vol. 59, no. 8, pp. 2151-2157, Aug. 2011.
- [4] Särkkä, S. (2010). Bayesian filtering and smoothing. Bayesian Filtering and Smoothing, 1–232. <https://doi.org/10.1017/CBO9781139344203>
- [5] Wenk, F., & Frese, U. (2015). Posture from motion. In IEEE International Conference on Intelligent Robots and Systems (Vol. 2015–Decem, pp. 280–285). Institute of Electrical and Electronics Engineers (IEEE). <https://doi.org/10.1109/IROS.2015.7353386>
- [6] Bleser, G., Mieza, M., Christmann, C., Bleser, G., Taetz, B., Mieza, M., ... Steffen, D. (2017). Development of an Inertial Motion Capture System for Clinical Application - Potentials and challenges from the technology and ... Development of an Inertial Motion Capture System for Clinical Application, 16(August), 113–129. <https://doi.org/10.1515/icom-2017-0010>
- [7] Lins, C., Müller, S. M., & Hein, A. (2016). Model-Based Approach for Posture and Movement Classification in Working Environments. In Ambient Assisted Living: 8. AAL-Kongress 2015, Frankfurt/M, April 29-30. April, 2015 (pp. 25–33). Springer Nature. [https://doi.org/10.1007/978-3-319-26345-8\\_3](https://doi.org/10.1007/978-3-319-26345-8_3)
- [8] Amin, M. G., Zhang, Y. D., Ahmad, F., & Ho, K. C. D. (2016). Radar signal processing for elderly fall detection: The future for in-home monitoring. IEEE Signal Processing Magazine, 33(2), 71–80. <https://doi.org/10.1109/MSP.2015.2502784>
- [9] Pentland, A., & Liu, A. (1999). Modeling and Prediction of Human Behavior. Neural Computation, 11(1), 229–242. <https://doi.org/10.1162/08997669930016890>
- [10] Eckert, R., Müller, S., Glende, S., Gerka, A., Hein, A., & Welge, R. (2017). LivingCare—An Autonomously Learning, Human Centered Home Automation System: Collection and Preliminary Analysis of a Large Dataset of Real Living Situations (pp. 55–72). Springer, Cham. [https://doi.org/10.1007/978-3-319-52322-4\\_4](https://doi.org/10.1007/978-3-319-52322-4_4)
- [11] Müller, S. M., Steen, E.-E., & Hein, A. (2016). Inferring Multi-person Presence in Home Sensor Networks (pp. 47–56). Springer, Cham. [https://doi.org/10.1007/978-3-319-26345-8\\_5](https://doi.org/10.1007/978-3-319-26345-8_5)
- [12] „deepfield-robotics,“ [Online]. Available: <https://www.deepfield-robotics.com/de/BoniRob.html>. [Zugriff am 12 01 2018].
- [13] F. L. e. al., „Localization as a feature of mmWave communication,“ in International Wireless Communications and Mobile Computing Conference (IWCMC), Paphos, 2016.

## 2 Eingehende Darstellung

### 2.1 Ergebnisse des Vorhabens

#### AP1 Gesamtsystem, Requirements, ELSI

Arbeitspaket 1 widmete sich den Themen Gesamtsystem, Anforderungen und den ethischen, rechtlichen und sozialen Fragestellungen.

*AP 1.1 und AP 1.2 Gemeinsame Erarbeitung der finalen funktionalen Spezifikation aller Komponenten und Erarbeitung der Lösungskonzepte (Pflichtenheft)*

Zur Identifikation grundsätzlicher Systemanforderungen wurde zunächst ein projektinterner Workshop mit allen beteiligten Konsortialpartnern durchgeführt. Dabei wurden, ausgehend von grundsätzlichen Fragestellungen, unterschiedliche Nutzergruppen und die folgenden grundsätzlichen Use-Case-Kategorien erarbeitet und beschrieben.

##### 1. Lokalisierung eines Objekts im Raum

Beispielfragestellung: Wo ist mein Schlüssel?

Die aktuelle Lage eines Objekts, das mit einem Tag markiert wurde, soll angesagt oder angezeigt werden. Dabei soll berücksichtigt werden, ob das Objekt aktuell für das System sichtbar ist bzw. wann es zuletzt gesehen wurde. Die Angabe der Lage soll den Raum innerhalb der Wohnung und die Relation zu bekannten Möbelstücken beinhalten. Eine mögliche Antwort auf die Beispielfrage wäre also: „Der Schlüssel ist sichtbar und befindet sich im Wohnzimmer auf der Kommode.“

##### 2. Lokalisierung eines Menschen im Raum

Beispielfragestellung: Wo ist Franz?

Diese Information ist relevant, wenn Automatismen durch die Position eines Bewohners initiiert werden sollen. Zum Beispiel ein Leselicht einschalten, wenn Franz sich in seinen Sessel setzt. Auch für Sicherheitsfragen und Angehörige (Remote-Zugriff) ist es zum Beispiel interessant, wenn Franz zu einer ungewöhnlichen Uhrzeit noch immer im Bett liegt oder nicht zu Hause ist. Die Position des Menschen wird dabei über Tags in der Kleidung bestimmt.

##### 3. Zeitlicher Verlauf der Koordinaten

Beispielfragestellung: Hat Franz Medikamenten-box bewegt, geöffnet?

Aufbauend auf der einmaligen Lokalisierung der Tags sollten zeitliche Verläufe der Koordinaten zur Verfügung stehen, um dynamischere Fragestellungen beantworten zu können. Für die Beispielfrage bedeutet dies, dass mit hoher Wahrscheinlichkeit die Medikamente nicht eingenommen wurden, wenn die Medikamentenbox zu einer bestimmten Uhrzeit nicht bewegt wurde.

##### 4. Zustandsüberprüfung

A) Beispielfragestellung: Ist das Fenster / die Tür / eine Schublade geöffnet?

Neben der Lokalisierung von Objekten sollten auch zuvor definierte Zustände einzelner Objekte detektierbar sein, um nachfolgend Checklisten für aufbauen zu können, zum Beispiel sollte beim Verlassen der Wohnung prüfbar sein, ob alle Fenster geschlossen sind.

B) Beispielfragestellung: Sitzt / steht / liegt Franz?

Auch der „Zustand“ eines Menschen sollte detektiert werden – mehrere Tags in verschiedenen Kleidungsstücken an unterschiedlichen Positionen des Körpers sollten in Körperhaltungen überführt werden (stehend, sitzend, liegend), so dass zum Beispiel medizinische Notfälle schnell erkannt werden (z.B. Person liegt über gewissen Zeitraum im Flur).

## 5. Langfristige Verhaltensänderungen

Neben den zuvor beschriebenen Aufgaben, die sich alle auf einen aktuellen Moment im Engeren zeitlichen Umfeld der Anfrage beziehen, lassen sich unter Umständen durch die mittel- und langfristigen Beobachtungen des Verhaltens auch Veränderungen beobachten und so zum Beispiel Merkmale fortschreitender Demenz erkannt werden.

## 6. Kombinationen für typische Szenarien

Beispielfrage: Hat Franz beim Verlassen des Hauses etwas vergessen?

Um typische Abläufe in alltäglichen Situationen leichter kontrollieren zu können, sollen die vorherigen Aufgaben miteinander kombiniert werden können zu Checklisten. Für das Verlassen des Hauses könnte dies zum Beispiel bedeuten, dass alle Fenster geschlossen sind, der Herd und die Heizungen ausgeschaltet sind, und der Haustürschlüssel eingesteckt wurde.

Die Komplexität der Interaktionen steigt von Aufgabe zu Aufgabe, so dass die Entwicklung der Funktionalitäten und der gesamte Designprozess sich kontinuierlich daran orientieren konnten.

Für die USE-Cases werden in Tabelle 1 Tabelle 2 die wichtigsten Anforderungen dokumentiert.

Tabelle 2: Anforderungen an Use-Case-Realisierungen 1 bis 7

Use Case	Anforderungen
<b>Wo ist mein Schlüssel?</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Nutzer des Use-Cases: Bewohner</li> <li>▪ Akustische Schnittstelle mit Raspberry Pi</li> <li>▪ Sprachausgabe über Sprachsyntheseprogramme</li> <li>▪ Technik (Sprachausgabe) in IDEAAL</li> <li>▪ Schnittstellen zur Software Sprachausgabe</li> <li>▪ Sprachortsausgabe benötigt Ausmessen des Raumes, Festlegen von Landmarken</li> <li>▪ Raumkalibrierung</li> <li>▪ Objektannotation Grafische Schnittstelle</li> </ul>
<b>Wo ist Franz?</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Nutzer des Use-Cases: System</li> <li>▪ Blaues Licht anmachen, wenn Franz ins Wohnzimmer kommt</li> <li>▪ Ist Franz schon (noch) im Bett? (Heizungsreglung)</li> <li>▪ Sitzt Franz auf dem Sofa, Stuhl? Liegt er neben Bett?</li> <li>▪ Schnittstelle zu IDEAAL</li> <li>▪ Mehrere Tags am Körper in unterschiedlichen Kleidungsstücken</li> <li>▪ Körperhaltung verbundener Tags im Raum erst in der 2. Stufe der Verarbeitung</li> <li>▪ Unterschied zwischen getragenen und transportierten Kleidungen wird vorläufig nicht gemacht</li> </ul>
<b>Hat Franz Medikamentenbox bewegt, geöffnet?</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Nutzer des Use-Cases: System (hast du schon die Pille genommen?), Angehörige (hat Oma die Pille genommen), Bewohner (habe ich vergessen die Pille zu nehmen?)</li> <li>▪ Schnittstelle zu System und Nutzer</li> <li>▪ Für Nutzerschnittstelle werden Systeme und Software von Die Netz-Werker AG genommen</li> <li>▪ Nutzertests mit mehreren Nutzern</li> </ul>

<b>Ist Fenster offen?</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Nutzer des Use-Cases: System (für Alarmanwendung), Bewohner: Beim oder nach Verlassen der Wohnung</li> <li>Identifikation über Ort der Tags</li> <li>Der Griff wird getagt</li> <li>Unterscheidung der Griffstellung</li> <li>Variante: Wir brauchen zwei Tags, um Unterschied klappen und kippen zu unterscheiden</li> </ul>
<b>Liegt, steht, sitzt Franz?</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Nutzer des Use-Cases: System, Use-Case: Alarmmeldungen, wenn Franz medizinische Probleme hat</li> <li>Erweiterung der Türgriffproblematik</li> <li>Auswertemöglichkeiten hängen von der Menge von Tags ab</li> <li>Tag in Schuhe, Shirt, Gürtel</li> <li>Use-Case erfordert mehr Mustererkennung</li> <li>Rückkopplungsfrequenzen als Erzeugung eines Codes nutzen</li> <li>In Kleidung lange dünne Tags</li> </ul>
<b>Veränderung des Verhaltens</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Nutzer des Use-Cases: Angehörige, Pflegedienst</li> <li>Beispiel: Merkmale fortschreitender Demenz</li> <li>Mustererkennung</li> <li>Merkmale sollen detektiert werden</li> <li>Test im IDEAA-Labor mit geskriptetem Verhalten. Test der Algorithmen über Wiederholung gleicher Tests mit eingestreuten kleinen geskripteten Veränderungen</li> </ul>
<b>Hat Franz beim Verlassen des Hauses etwas vergessen?</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Nutzer des Use-Cases: System, Bewohneranfrage</li> <li>Tag an der Haustür</li> <li>Lernen des „Normal“-Verhaltens, Einbeziehung von Regeln: z.B. witterbedingte Regeln</li> <li>Test im IDEAA-Labor mit geskriptetem Verhalten.</li> </ul>

Bei der Analyse der zugeordneten Use-Cases konnten außerdem zahlreiche Objekte identifiziert werden, die getrackt werden könnten (siehe Tabelle 3)

Tabelle 3: Identifizierte mögliche Objekte, die getrackt werden könnten

Alltagsgegenstände	Küche	Wertgegenstände	Kleidung	Zustände von Objekten
Geldbörse	Topf (auf dem Herd oder nicht)	Kunst	Gürtel	Vase (noch genug Wasser)
Schlüssel		Geldkassette	Pullover	
Hörgerät	Behälter von Lebensmitteln	Schmuckschatulle	T-Shirt	Fenster (offen, gekippt, zu)
Armbanduhr	Messer	Kette	Hemden	Schubladen
Ladegerät	Gefährliche Chemikalien im Haushalt (z.B. scharfe Reinigungsmittel)	Brosche	Hose	Türen
Brille			Schal, Mütze, Handschuh	Wasserstand in Waschbecken
Fernbedienung			Socken	(Tag in Höhe des Auslaufs)
Kopfhörer	Häufig gebrauchte Zutaten (Salz)		Unterhose	
Telefon			Schuhe	Wasserstand in der Badewanne
Buch	Wasserkocher		Mantel	(angebracht am Quietscheentchen)
Tablet, Tablett	Kaffeekanne		Hut	
Regenschirm	Kochmütze			
Hausschuhe				

Weiterhin wurden Anforderungen an das Gesamtsystem und Schnittstellen erarbeitet. Abbildung 4 zeigt die Anforderungen an das Gesamtsystem und die Schnittstellen

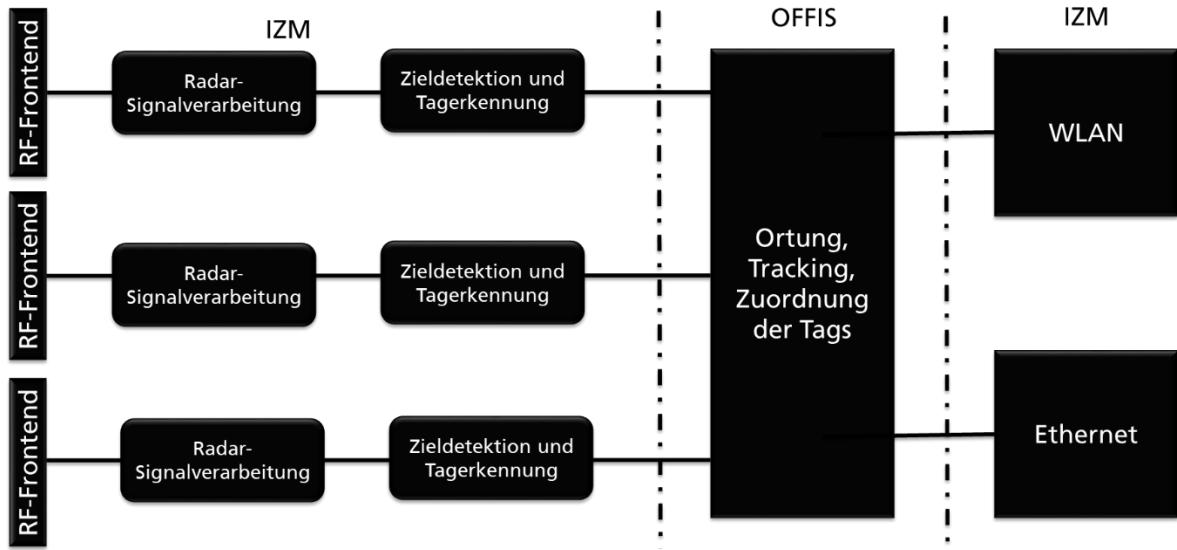


Abbildung 4: Darstellung der abgestimmten Software Schnittstellen

In Abbildung 5 ist die Gesamtstruktur dargestellt. Im Pflichtenheft wurden abschließend auch die Anforderungen an die Mensch-Maschine-Schnittstellen definiert.

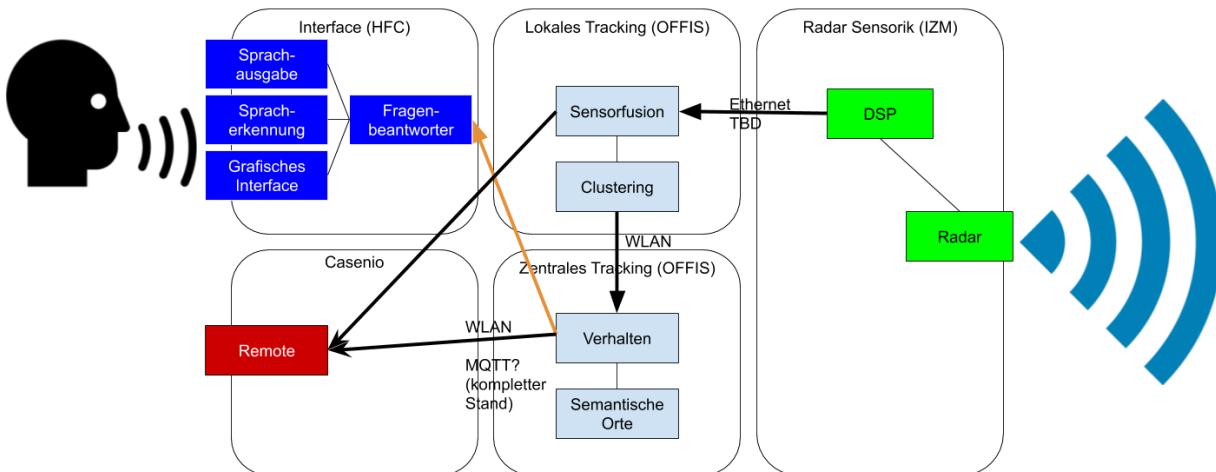


Abbildung 5: Darstellung der Gesamtstruktur

### AP 1.3 Erarbeitung der Testszenarien

Basierend auf der Anforderungsanalyse und den Systemspezifikationen wurden mögliche Test-szenarien abgeleitet. Diese ließen sich nutzerseitig in zwei Kategorien unterteilen: das Auffinden von Gegenständen in der Wohnung (Schlüssel, Fernbedienung, etc.) sowie die Prüfung von Objektzuständen (Fenster, Herd, etc.). Die Testszenarien wurden sowohl für die Erhebung nutzerzentrierter Anforderungen eingesetzt – hier in Form von Gedankenexperimenten (vgl. Abbildung 6) – als auch für die Evaluation der sprachlichen und grafischen Interfaces. Für die späteren

Evaluationsphasen in AP7 wurden die Testszenarien auf Basis der Tagebuchstudie weiter detailliert.

### Gedankenexperiment

Stellen Sie sich folgende Situation vor:

Sie wollen Ihr Haus verlassen und ihr Schlüssel ist nicht an dem Ort, der für ihn vorgesehen ist. Sie müssen ihn also suchen.



Wie gehen Sie vor?

© Das Projektkonsortium von OmniConnect

Abbildung 6: Beispiel Gedankenexperiment, Szenariokategorie Auffinden von Gegenständen

#### AP1.4. Bearbeitung der Datenschutzproblematik

Die Bearbeitung von Fragestellungen zum Datenschutz wurde in zwei Bereichen durchgeführt: Zum einen wurden durch jeden Partner technische und organisatorische Maßnahmen (TOM) für die Verarbeitung personenbezogener Daten auf Basis von Checklisten definiert, um den Anforderungen der Datenschutzgrundverordnung zu entsprechen. Die definierten TOM umfassen die Themen Transparenz, Zweckbindung, Datenminimierung, Richtigkeit, Speicherbegrenzung, Vertraulichkeit, Integrität, Verfügbarkeit, Belastbarkeit, sowie Rechenschaftspflicht und Wirksamkeitsnachweis. Zum anderen wurden Informationsunterlagen und Einverständniserklärungen für die im Projekt an Nutzertests teilnehmenden Probanden\*innen vorbereitet. Diese wurden flankiert von einem umfangreichen Schutz- und Hygienekonzept, welches durch die Covid19-Pandemie zur Durchführung von Nutzertests zwingend erforderlich und für das Projekt erarbeitet wurde.

#### AP 1.6 Bearbeitung ethischer Fragestellungen

Hierzu wurden mehrere ELSI-Workshops mit Vertretern aller Partner auf Basis des MEESTAR-Modells<sup>1</sup> durchgeführt. Es bietet sieben Bewertungsdimensionen (Fürsorge, Selbstbestimmung, Sicherheit, Gerechtigkeit, Privatheit, Teilhabe und Selbstverständnis), die auf gesellschaftlicher, organisationaler und individueller Betrachtungsebene die szenarienbasierte Ableitung ethischer Aspekte unterstützen.

<sup>1</sup> Manzeschke, A., Weber, K., Rother, E., & Fangerau, H. (2013). Ethische Fragen im Bereich Altersgerechter Assistenzsysteme. VDI/VDE.

Die Arbeiten wurden im digitalen Whiteboardtool Miro ([www.miro.com](http://www.miro.com)) festgehalten zu dem alle Beteiligten jederzeit Zugang hatten (einen Ausschnitt zeigt Abbildung 7). Hier wurden im ersten Workshop-Teil das MEESTAR-Modell sowie die weitere Vorgehensweise der ELSI-Bearbeitung detailliert besprochen.

Im Anschluss an den ersten Workshop erfolgte in Einzelarbeit die Zuordnung der gemeinsam erarbeiteten Fragestellungen zu den im Modellvorgehen vorgesehenen vier Stufen der ethischen Sensibilität. Es konnten insgesamt 81 ethische Aspekte, die das OmniConnect-System tangiert, identifiziert werden. Die Ergebnisse wurden zusammengefasst und in einem zweiten Workshop diskutiert. Die Ergebnisse wurden zur Finalisierung des Systems sowohl bzgl. der Ausgestaltung (u.a. Funktionalität für die Nutzer\*innen) als auch der Umsetzung (i.S.d. technischen Implementierung) herangezogen.

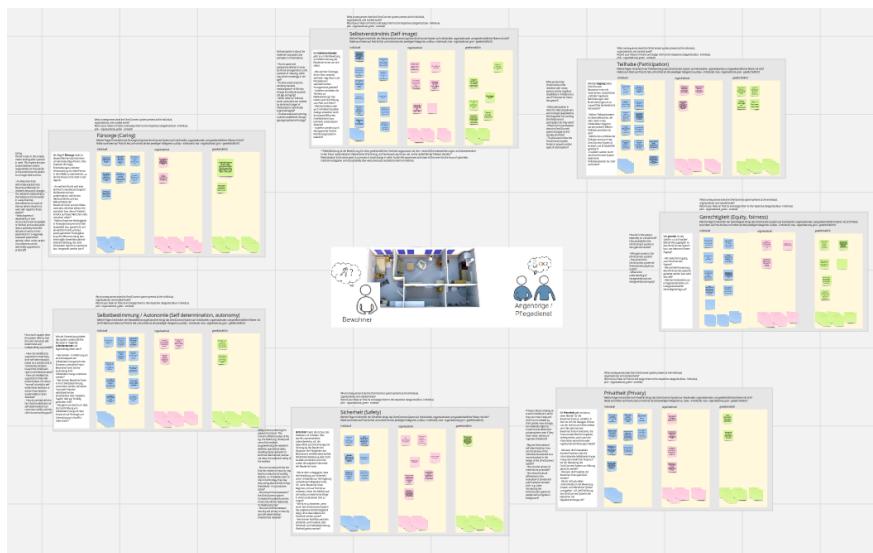


Abbildung 7: Ausschnitt aus dem Miro-Bord des ELSI-Workshops

## AP2 Zusammenarbeit mit Living Lab

### AP2.2 Konzeption und Durchführung von Nutzerstudien

In erster Linie wurden Konzepte für eine mögliche standortübergreifende oder projektübergreifende aber standortgebundene Studie erstellt. Diese sollten in Zusammenarbeit mit anderen Projekten oder dem Living Lab durchgeführt werden. Die Planungen konnten dann später wegen der COVID-Pandemie nicht praktisch umgesetzt werden.

### AP2.3 Durchführung von projektübergreifenden Workshops

Zusammen mit OFFIS wurden Planungen für Workshops mit anderen Projekten durchgeführt. Wegen der COVID19-Pandemie konnte die Planung dann nicht umgesetzt werden. Stattdessen wurden projektinterne Workshops durchgeführt.

## AP7 Nutzerschnittstellen

Um die Konzepte für die Benutzerschnittstellen von AP 7.1 und 7.2 entwickeln zu können, war es wichtig zu wissen, welche Objekte im heimischen Umfeld häufig genutzt bzw. gesucht werden und wie sich typische Situationen dafür darstellen. Dazu wurden zum einen die Ergebnisse des zu Projektbeginn durchgeführten Workshops (AP 1.1) genutzt. Ergänzend wurde eine einwöchige Tagebuchstudie durchgeführt, in der dokumentiert wurde, welche Objekte gesucht und welche Objektzustände geprüft wurden, welche Suchstrategien genutzt werden und welche Wünsche an eine OmniConnect-Assistenz gestellt werden. Dabei wurden 47 Situationen ermittelt, in denen Objekte verlegt wurden und 22 Situationen, in denen ein Objektzustand geprüft wurde. Die Ergebnisse wurden systematisiert und den Partnern in einem Projekttreffen berichtet. Bzgl. der Konzeption der User Interfaces wurde ein interner, multidisziplinärer Workshop durchgeführt und es fand ein Projekttreffen mit dem Partner Die Netz-Werker zum Erfahrungsaustausch statt.

### *AP7.1 und 7.2 Konzeptentwicklung für die akustische und grafische Benutzerführung zur Steuerung von Ortsanfragen.*

Die Konzeptentwicklung für eine benutzerfreundliche und effektive Nutzerschnittstelle ist ein entscheidender Prozess bei der Gestaltung einer erfolgreichen Anwendung. Im Rahmen des Projektes, wurden dabei folgende Schritte durchgeführt: Brainstorming zu möglichen Use-Cases und die Definition von Aufgaben (AP 1.1), Erstellung von UML-Diagrammen für den Nutzungsablauf, Erstellung von Wireframes und Aufbau eines Klick-Prototyps für erste Evaluationen.

#### Brainstorming zu möglichen Use-Cases:

Zu Beginn der Konzeptionierung fand ein intensives Brainstorming mit allen Projektpartnern statt, basierend auf den o.g. Tagebuchstudien. Ziel war es unter anderem, eine umfassende Liste potentieller Use-Cases für die geplante Applikation zu erstellen. Dabei wurden Ideen gesammelt, wie die Applikation im Alltag eingesetzt werden könnte. Diese erste Phase ermöglichte es, die Anforderungen und Erwartungen aller Beteiligten zu verstehen und eine klare Vision für die Applikation zu entwickeln.

#### Definition der Aufgaben:

Basierend auf den Ergebnissen des Brainstormings wurden die Hauptaufgaben definiert, die die Applikation bewältigen soll. Diese Aufgaben wurden in konkrete Anwendungsfälle übersetzt und bildeten die Grundlage für die weitere Entwicklung der Nutzerschnittstelle. Die Aufgaben werden in AP 1.1 beschrieben.

#### Erstellen von UML-Diagrammen:

Um den Nutzungsablauf der Applikation zu visualisieren, wurden UML-Diagramme erstellt. Diese Diagramme zeigten die verschiedenen Schritte, Aktionen und Entscheidungspunkte, die ein Benutzer durchläuft, während er die Applikation nutzt. Dabei wurden iterativ Ergänzungen vorgenommen, immer wenn neue Erkenntnisse durch Untersuchungen oder Fortschreiten der Entwicklung zur Verfügung standen. Die UML-Diagramme halfen nicht nur dabei, den Ablauf zu strukturieren, sondern dienten auch der Festigung der gemeinsamen Vision für das Systems und

natürlich als Grundlage für die Gestaltung der Benutzeroberfläche. Auch die Gestaltung der akustischen Schnittstelle orientierte sich an diesem Ablauf.

#### Erstellen von Wireframes:

Auf Grundlage der UML-Diagramme wurden Wireframes erstellt. Die Wireframes sind skizzenhafte Darstellungen der Benutzeroberfläche, die die Platzierung von Elementen, Benutzeroberflächenkomponenten und grundlegende Interaktionsmöglichkeiten veranschaulichen. Diese Wireframes halfen dabei, ein grundlegendes Designkonzept zu etablieren und frühzeitig Feedback einzuholen.

#### Aufbau eines Klick-Prototyps:

Um das Designkonzept greifbarer zu machen, wurde ein Klick-Prototyp entwickelt. Dieser Prototyp ermöglichte es, den Nutzungsablauf der Applikation interaktiv zu erleben. Benutzer konnten durch die verschiedenen Bildschirme navigieren und grundlegende Interaktionen simulieren. Der Klick-Prototyp wurde verwendet, um erste Evaluationen durchzuführen und wertvolles Feedback von den zukünftigen Nutzern zu sammeln (AP 7.5).

Für den Aufbau einer sprachbasierten Schnittstelle, die auch unabhängig von der grafischen Benutzeroberfläche funktionieren sollte, wurden weitere vorbereitende Rahmenbedingungen erarbeitet. Es existiert bereits eine Vielzahl an etablierten Lösungen sowohl zur Spracherkennung als auch zur Steuerung von Geräten. Im Kontext dieses Projektes war es allerdings wichtig, eine Open Source Lösung zu finden die eine freie Programmierung und Anpassung ermöglichte. Aus Datenschutzgründen war es wichtig, dass die Spracherkennung und -synthese ausschließlich lokal erfolgten und keine Audiologs angelegt oder gar versendet werden, um diese Online auszuwerten. Außerdem wurden mögliche Protokolle für die Kommunikation zwischen den einzelnen Komponenten (Sensorik, Server, grafische Schnittstelle, akustische Schnittstelle) verglichen.

Die Konzeptentwicklung für eine Nutzerschnittstelle erfordert eine strukturierte Herangehensweise, die sich auf die Bedürfnisse der Benutzer konzentriert. Durch das Brainstorming zu möglichen Use-Cases, die Definition von Aufgaben, die Erstellung von UML-Diagrammen, Wireframes und einem Klick-Prototypen sowie einer Sprachbedienung wurde ein iterativer Prozess geschaffen, der die Grundlage für eine benutzerzentrierte Gestaltung legte. Frühes Feedback und regelmäßige Evaluationen spielten eine entscheidende Rolle, um sicherzustellen, dass die entwickelte Nutzerschnittstelle die Erwartungen der Nutzer erfüllt und eine optimale Benutzererfahrung bietet.

#### *AP7.3 Entwicklung Software für akustischen Steuerung von Ortsanfragen*

Die Sprachsteuerung und die grafische Benutzeroberfläche folgten im Wesentlichen demselben Interaktionsmuster. Für die Sprachsteuerung besteht der Aufbau aus wenigen Komponenten: Ein Mikrofon, über das der Sprachbefehl eingegeben werden kann, eine Software, die die Spracherkennung durchführt und aufgrund des verstandenen Befehls eine Anfrage an die Sensorik oder eine Datenbank schickt und einen Lautsprecher, der die Antwort auf die Anfrage ausgibt (Abbildung 8).

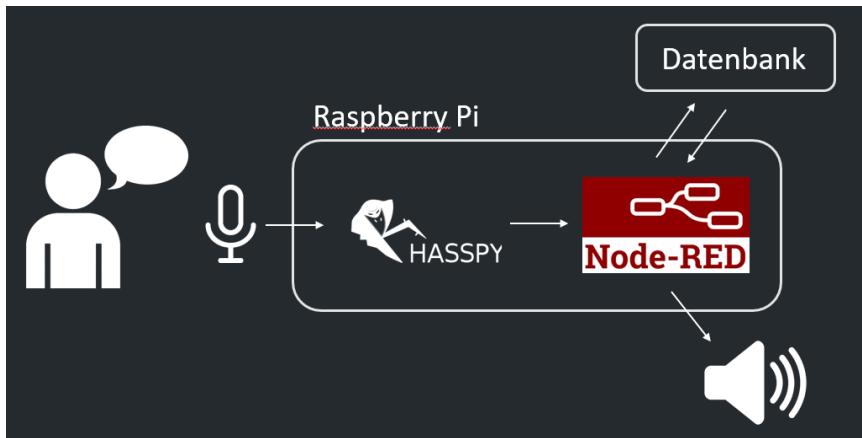


Abbildung 8: Schematische Darstellung der Sprachsteuerung

Bei der Umsetzung setzten wir auf Rhasspy - eine Open-Source-Plattform für Sprachverarbeitung und Spracherkennung. Sie ermöglicht die Entwicklung von benutzerdefinierten sprachgesteuerten Anwendungen ohne Cloud-Services. Rhasspy läuft offline, erlaubt anpassbare Sprachmodelle und kann Intentionen aus erkanntem Text extrahieren, um Aktionen auszulösen, besonders in Smart-Home-Umgebungen. Dieses Framework ermöglichte also eine entwicklerfreundliche Verknüpfung der einzelnen Komponenten eines Sprachassistenten, angefangen mit der Wahl des Audioeingabegerätes, über die Definition eines Wakewortes<sup>2</sup>, die Auswahl einer Speech-to-Text Komponente (STT) bis zur Intentions-Erkennung. Durch dieses modulare System war ein einfacher Austausch von Teilen in der Kette leicht handhabbar, um eine ideale Lösung zu finden.

Es wurde entschieden, ein ReSpeaker 4-Mic Array als Mikrofon einzusetzen, um eine effektive Erfassung des gesamten Raums sicherzustellen. Zur Minimierung von falsch positiven Erkennungen wurde ein Wakeword festgelegt. Sobald dieses Wakeword erkannt wurde, erfolgte die Weiterleitung des aufgezeichneten Audiosignals an einen Kaldi STT-Übersetzer. Kaldi ist eine Open-Source-Plattform für die Entwicklung von Spracherkennungssystemen und bietet Werkzeuge und Ressourcen, um akustische Modelle zu trainieren, Sprachdaten zu verarbeiten und transkribierte Textausgaben zu generieren.

Die erkannten Worte wurden im Anschluss an ein FuzzyWuzzy-Programm übergeben, das dazu diente, die beabsichtigte Aussage in dem erkannten Text zu deuten. FuzzyWuzzy ist eine Python-Bibliothek, die für die Textverarbeitung und String-Vergleiche verwendet wird. Sie bietet Funktionen zur Berechnung der Ähnlichkeit zwischen Texten und zur Findung von Übereinstimmungen, auch wenn die Texte leicht unterschiedlich sind oder Rechtschreibfehler enthalten. Um den Interpretationsprozess zu unterstützen, wurden im Vorfeld relevante Satzstrukturen festgelegt, so dass die notwendigen Schlüsselwörter und ihre Varianten schnell identifiziert werden konnten. Das Endergebnis dieses Prozesses wurde in Form eines JSON-Strings über ein WebSocket ausgegeben.

---

<sup>2</sup> Ein Wakeword ist ein spezielles Wort oder eine Phrase, die in sprachaktivierten Systemen verwendet wird, um das System aus dem Ruhezustand zu "wecken" oder zu aktivieren. Es fungiert als Startsignal für das System, um auf gesprochene Befehle oder Anfragen zu reagieren.

Für die Verkettung dieser einzelnen Software-Pakete wurde Node-RED eingesetzt, eine visuelle Programmierplattform für IoT und Automatisierung, in der vorgefertigte Knoten miteinander verbunden werden, um Workflows zu erstellen. Es integriert IoT-Geräte, Dienste und bietet eine einfache Möglichkeit, komplexe Aufgaben zu automatisieren. Für OmniConnect wurde mit Node-RED ein "WebSocket Reader" eingerichtet, welcher die Ergebnisse, die vom Rhasspy-System erzeugt wurden, an die Datenbank für Lokalisierung weiterleitete. Die Verbindung zwischen dem WebSocket Reader und der Datenbank fand über eine MQTT-Schnittstelle statt. Diese Schnittstelle ermöglichte nicht nur das Versenden der erstellten Anfragen an die Datenbank, sondern auch die Entgegennahme der entsprechenden Antworten. Die aus dieser Interaktion gewonnenen Textdaten wurden anschließend mithilfe eines Text-to-Speech-Programms namens "pico2wave" verarbeitet. Dieses wandelte die geschriebenen Texte in gesprochene Sprache um, die schließlich über Lautsprecher ausgegeben wurde, um die Informationen hörbar zu machen.

Insgesamt bildete dieses Vorgehen eine effektive End-to-End-Verarbeitungskette, die es ermöglichte, vom Sprachinput bis zur sprachlichen Ausgabe eine nahtlose Kommunikation zu realisieren.

#### AP7.4 Entwicklung Software Ortsanfrage über Smartphone

Für die grafische Nutzeroberfläche wurde die Entwicklung einer Webapplikation gewählt. Diese Technik bietet gegenüber nativen Apps, die explizit für Android oder Apple iOS entwickelt werden einige Vorteile: Sie sind plattformunabhängig, denn Web-Apps können über verschiedene Webbrower auf unterschiedlichen Plattformen (Desktop, Mobilgeräte, Tablets) ausgeführt werden, ohne dass separate Versionen für jede Plattform entwickelt werden müssen. Außerdem können sie zentral auf einem Server gehostet werden. Updates und Änderungen können also sofort für alle Nutzer wirksam werden, ohne dass Benutzer die App aktualisieren müssen. Es ist auch kein Download erforderlich. Dies kann die Einstiegshürde für Nutzer reduzieren. Ein großer Vorteil im Rahmen des Projekts war weiterhin die bereits vorhandene große Expertise im Bereich der Webtechnologien (HTML, CSS, JavaScript), so dass schnelle Entwicklungsfortschritte erzielt werden konnten ohne zunächst eine neue Entwicklungsumgebung und entsprechende Frameworks zu erlernen.

Die Entwicklung erforderte die Integration verschiedener Technologien, um eine benutzerfreundliche und effektive Lösung zu schaffen. Prozess begann mit der Erstellung eines detaillierten Klickprototyps in Adobe XD. Dieser Prototyp diente als visuelle Vorlage für die geplante Webapplikation. Dabei wurden verschiedene Benutzeroberflächenkomponenten, Interaktionsmöglichkeiten und Layouts entworfen. Der Klickprototyp ermöglichte es, das grundlegende Designkonzept zu validieren, bevor die eigentliche Umsetzung begann.

Basierend auf diesem Prototyp wurde die Webapplikation mithilfe von Vue.js entwickelt, einem JavaScript-Framework zur Erstellung von interaktiven Webanwendungen. Es verwendet eine komponentenbasierte Struktur, die es ermöglicht, die Benutzeroberfläche in wiederverwendbare Teile aufzuteilen. Mit deklarativer Syntax verknüpft es Daten mit der Ansicht und aktualisiert diese automatisch, wenn sich die Daten ändern. Vue.js erleichtert auch das Handling von Ereignissen

und bietet optionale Module wie Routing und Zustandsverwaltung, die für den Wechsel zwischen den einzelnen Ansichten eingesetzt wurden.

Vue.js ermöglichte die Umsetzung der komponentenbasierten Struktur, die im Klickprototypen definiert wurde. Dabei wurde besonderes Augenmerk darauf gelegt, dass die Benutzeroberfläche gut auf Touch-Devices funktioniert. Für die Nutzertests wurden letztlich Tablets als Anzeigegerät gewählt, die im Vergleich zum Smartphone vor allem bei Nutzern\*innen der älteren Zielgruppe für höheren Nutzungskomfort sorgten.

Um die Webapplikation mit echten Daten zu versorgen musste eine Schnittstelle zur Sensorik geschaffen werden. Hierzu wurde das etablierte MQTT-Protokoll verwendet. MQTT steht für "Message Queuing Telemetry Transport" und ist ein leichtgewichtiges Kommunikationsprotokoll, das für die Übertragung von Nachrichten zwischen Geräten oder Anwendungen über Netzwerke entwickelt wurde. Es wurde speziell für Situationen entworfen, in denen die Netzwerkverbindung eingeschränkt oder instabil sein kann, wie z.B. bei IoT Geräten. MQTT ist darauf ausgelegt, wenig Bandbreite und Ressourcen zu verbrauchen. Dies macht es ideal für Umgebungen mit begrenzter Datenübertragungskapazität oder Stromversorgung, wie sie oft bei IoT-Geräten der Fall sind. Es basiert auf einem Publish-Subscribe-Muster, das heißt Geräte können Nachrichten auf sogenannten "Topics" veröffentlichen, und andere Geräte, die an diesen Topics interessiert sind, können diese Nachrichten abonnieren und empfangen. Dies ermöglicht eine effiziente Kommunikation zwischen vielen Geräten, ohne dass jedes Gerät direkt mit jedem anderen kommunizieren muss. MQTT unterstützt außerdem langlebige Verbindungen zwischen Geräten und dem MQTT-Broker. Das reduziert den Overhead für die Verbindungsherstellung und ermöglicht eine kontinuierliche Kommunikation. Natürlich bietet es auch Möglichkeiten zur Verschlüsselung und Authentifizierung, um die Sicherheit der übertragenen Daten zu gewährleisten.

Für OmniConnect wurden verschiedene MQTT-Topics für getrackte Objekte und Events definiert, um die Nachrichten entsprechend der Anforderungen zu organisieren. Die Webapplikation konnte so Echtzeitdaten von den Sensoren empfangen, aufbereiten und anzeigen.

Im iterativen Wechsel von Entwicklungs- und Testzyklen, wurden fünf Ansichten für die OmniConnect-Applikation realisiert. Die App startet mit einer übersichtlichen Homepage, diese bietet eine schnelle Übersicht über ausgewählte Checklisten und Objekte. Der Zustand der Checkliste ist bereits auf der Homepage ersichtlich, es gibt aber auch eine Detailansicht, in der die einzelnen Punkte aufgeführt werden, die zuvor definiert wurden. So lässt sich schnell prüfen, welche Aspekte erfüllt sind und welche nicht (Abbildung 9).

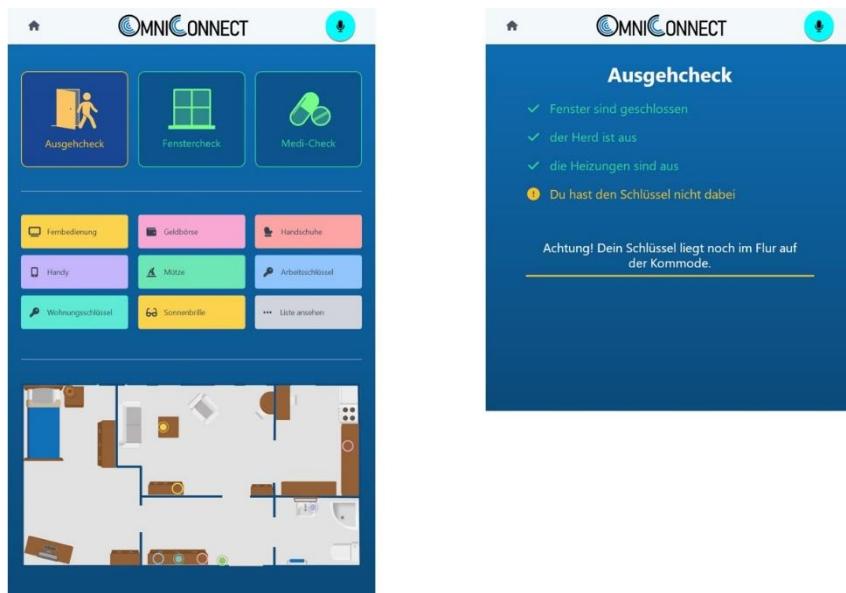


Abbildung 9: Ansichten der Homepage (links) und der Detailansicht einer Checkliste (rechts)

Außerdem gibt es eine ausführliche Objektliste. Jedes getrackte Objekt wird in Form eines Eintrags mit relevanten Informationen wie Name, Position und Status angezeigt. Wenn einen Eintrag in der Liste geklickt wird, öffnet sich eine Detailseite (Abbildung 10). Hier werden ausführlichere Informationen zum ausgewählten Objekt und die Lage des Objekts im Grundriss der Wohnung angezeigt. Die App verfügt auch über eine spezielle Seite, die den Grundriss der Wohnung mit allen Objekten anzeigt. Diese sind mit ihren aktuellen Statussymbolen gekennzeichnet, so dass leicht erkennbar ist, welche Objekte wo und in welchem Zustand sind, ohne die Detailseiten aufrufen zu müssen.



Abbildung 10:  
Ansichten der Objektliste (links), der Objekt-Detailansicht (mittig) und des Grundrisses (rechts)

In die Webanwendung wurde zudem eine Schnittstelle zur zuvor beschriebenen Sprachsteuerung (AP 7.3) integriert. Über einen "Push-to-Talk"-Button auf dem Tablet konnten Benutzer mit dem Tablet-Mikrofon Sprachbefehle aufzeichnen, die dann über MQTT an den Raspberry Pi gesendet wurden. Die erhaltene Antwort führte nicht nur zu einer entsprechenden Aktualisierung der Benutzeroberfläche (GUI), sondern löste auch die akustische Ausgabe über die Lautsprecher aus, wodurch eine nahtlose Verbindung zwischen gesprochener Anweisung und visueller sowie auditoriver Rückmeldung geschaffen wurde.

Die Entwicklung der Webapplikation mit Vue.js und MQTT erforderte eine sorgfältige Abstimmung zwischen Design und Technologie. Der Klickprototyp legte den Grundstein für das Designkonzept, während Vue.js die Umsetzung der Benutzeroberfläche und der Interaktionen ermöglichte. Die Integration von MQTT gewährleistete die Echtzeitkommunikation mit der Sensorik und der eigenständigen Sprachsteuerung. Das Ergebnis war eine benutzerfreundliche Webapplikation, die speziell für Touch-Devices wie Tablets optimiert wurde und erfolgreich die gesteckten Anforderungen erfüllte.

#### *AP7.5. Labortests der Nutzerschnittstellen*

Im Sinne des User-Centered-Design-Prozesses sollten bereits zu frühen Phasen der Systementwicklung in einem parallel-iterativen Ansatz einzelne Komponenten getestet bzw. Feedback zur Benutzung eingeholt werden. Daher wurde eine Expertengruppe („User Research Group“) eingerichtet, die sich als festes Team aus Vertretern\*innen der Nutzergruppe über die weitere Projektlaufzeit hinweg in regelmäßigen Abständen an Nutzerbefragungen beteiligte. Die Gruppe bestand aus vier Teilnehmenden, die aus der Versuchspersonendatenbank von HFC akquiriert wurden.

Ein erster Workshop mit den teilnehmenden Teilnehmern fand im Juni 2021 statt, mit dem Ziel, dass sich alle Beteiligte kennenlernen sowie das Projekt und erste Ideen zur Gestaltung der Nutzerschnittstellen besprechen. Die Evaluation der Nutzerschnittstellen-Konzepte fand in Form einer Heuristischen Evaluation im Rahmen einer Fokusgruppe statt. Dafür wurde den Teilnehmenden ein klickbarer grafischer Prototyp der OmniConnect-GUI vorgestellt. In diesem waren bereits das Dashboard (Startbildschirm) angelegt sowie einige Buttons und Einstellungen klickbar. Ziel war es, das Design und grundlegende Nutzungsabläufe des zukünftigen Systems zu evaluieren, unabhängig vom tatsächlichen Entwicklungsfortschritts der zugrundeliegenden Technik.

Das Dashboard war in drei Abschnitte geteilt (siehe Abbildung 11). Im oberen Abschnitt befinden sich die Objekte, die gesucht werden. Standardmäßig würden hier diejenigen Objekte angezeigt, die der Nutzer am häufigsten sucht. Über den Button „Mehr“ konnten andere Objekte gesucht bzw. angelegt werden.

In der Mitte des Dashboards befand sich ein Lageplan der Wohnung, der unter anderem die wichtigsten Wohnungsgegenstände enthielt. Daneben waren die im oberen Abschnitt angezeigten Objekte als Kreise auf dem Lageplan angezeigt. Diese waren jeweils als Punkt in der gleichen Farbe wie der Button des Objektes im oberen Abschnitt markiert.

Außerdem sollte der Nutzer die Möglichkeit haben, sich verschiedene „Checks“ anzulegen. Diese waren im unteren Abschnitt des Dashboards dargestellt. In diesem Fall waren beispielhaft die Checks „Regencheck“, „Fenstercheck“ oder „Medi-Check“ angelegt. Dahinter verbargen sich Überprüfungen, die das System für den Probanden automatisch durchführte und ggf. eine Meldung gab. Beispielsweise hätte das System checken können, ob alle Fenster geschlossen sind, z.B. auch wenn es anfängt zu regnen („Fenstercheck“ bzw. „Regencheck“). Eine andere Möglichkeit wäre gewesen, mit Hilfe des Systems zu checken, ob man seine Medikamente planmäßig eingenommen hat.



Die GUI wurde den Probanden detailliert vorgestellt und erläutert, etwaige Fragen wurden geklärt. Im Anschluss daran wurden die Probanden um ein Feedback hinsichtlich der Usability und Zugänglichkeit der GUI gebeten. Abgefragt wurden Kriterien der Usability nach DIN EN ISO 9241 und Prinzipien der Barrierefreiheit nach WCAG 2.1. Aufgrund des Entwicklungsstandes der GUI konnten nur ausgewählte Kriterien abgedeckt werden: Aufgabenangemessenheit (Usability), Selbstbeschreibungsfähigkeit (Usability), Wahrnehmbarkeit (Barrierefreiheit), Bedienbarkeit (Barrierefreiheit) und Verständlichkeit (Barrierefreiheit). Die Items für die Usability-Kriterien wurden dem Isometrics<sup>3</sup>- sowie ISONORM<sup>4</sup>-Fragebögen bzw. der SuS-Skala<sup>5</sup> entnommen und ggf. auf die Befragung angepasst. Die Items zur Barrierefreiheit wurden auf Basis der Prinzipien generiert. Die Teilnehmer gaben ihre Bewertung auf einer fünfstufigen Skala ab: 1 – stimmt nicht, 2 – stimmt wenig, 3 – stimmt mittelmäßig, 4 – stimmt ziemlich, 5 – stimmt sehr. Dabei sie sich auf eine gemeinsame Bewertung (mit Ausnahme von einem Item gelang dies durchweg).

Daneben wurden die Probanden auch um inhaltliches Feedback, also nach positiven und negativen Meinungen zur GUI, zur bestehenden App und weiteren wünschenswerten Features gebeten. Bereits zu diesem Zeitpunkt wurde umfangreiches Feedback gegeben. Im Anschluss wurden die Aussagen bzgl. der Usability- und Barrierefreiheitskriterien diskutiert. Die GUI zeigte alle Informationen an, die die Teilnehmer benötigt haben. Die Begriffe, Bezeichnungen, Abkürzungen und Symbole entsprachen den Erwartungen, waren zudem auch verständlich ausgewählt und in ausreichender Größe dargestellt. Daneben reichten die Informationen aus, um den Schlüssel zu

<sup>3</sup> Willumeit, H., Hamborg, K.C. & Gediga, G. (1997). IsoMetrics. Fragebogen zur Evaluation von grafischen Benutzungsschnittstellen.

<sup>4</sup> Prümper, J. (2016). Fragebogen ISONORM 9241/110-S. Beurteilung von Software auf Grundlage der Internationalen Ergonomie-Norm DIN EN ISO 9241-110.

<sup>5</sup> Brooke, J. (1996). SUS: a "quick and dirty" usability scale. In: P. W. Jordan, B. Thomas, B. A. Weerdmeester, & A. L. McClelland (Hrsg.): *Usability Evaluation in Industry*. London: Taylor and Francis.

suchen, der Ablauf der Suche war sinnvoll aufgebaut. Bezuglich der Farbauswahl waren die Teilnehmenden sehr zufrieden. Die GUI erschien einfach zu benutzen und nicht unnötig kompliziert zu sein. Die Teilnehmenden äußerten, dass sie sie ohne Unterstützung nutzen könnten. Die Ergebnisse wurden als Grundlage für das Re-Design der GUI genutzt.

## AP9 Evaluierung, Probandentests im Testfeld

### AP 9.1 Entwicklung von Testszenarien

Für die Feldtests mit Nutzern\*innen hat HFC auf Basis Nutzertest-Konzepte entwickelt, um den Demonstrator des OmniConnect-Systems zu evaluieren. Geplant war für die Feldtests ein multi-methodischer Ansatz, der die Evaluierung aller in AP 1.1 identifizierten Use Cases innerhalb einer Feldstudie vorsah. Definiert wurden hier sowohl das Untersuchungsszenario als auch die Methodik (Interview, Fragebogen, o.ä.) sowie zu erhebende Daten (qualitativ, quantitativ) und randseitige Fragestellungen, die die Durchführung der Studie betrafen. Die Konzepte wurden mit den Partnern abgestimmt. Leider konnten sie aufgrund der Lieferschwierigkeiten der technischen Bauteile und den sich daraus ergebenden Projektverzögerungen nicht vollumfänglich umgesetzt werden (siehe AP 9.4).

### AP 9.4 Durchführung Probandentests

Ursprünglich war geplant, Probandentests in IDEAAL-Testumgebung des Partners OFFIS durchzuführen. Wegen COVID19-bedingte Verzögerungen in der Hardwareerstellung durch den Partner IZM musste die Probandentest mit der fertigen Hardware durch Tests mit Mock-Ups in den Räumen von HFC ersetzt werden und mit den Tests von AP 9.5. zusammengelegt werden.

### AP 9.5 Evaluation im Labortest

Im Frühjahr gab es eine erste Befragung von potentiellen Nutzenden des OmniConnect-Systems, insbesondere hinsichtlich der Gestaltung der GUI. Das Feedback floss direkt in die weitere Projektentwicklung ein und mündete in einer überarbeiteten Version der GUI (siehe AP 7.4, **Fehler! Verweisquelle konnte nicht gefunden werden.**). Die überarbeitete GUI sowie die erste Version des Prototypens der Sprachsteuerung waren im Frühjahr 2022 Bestandteil erster Labortests, in denen sowohl die akustischen als auch die grafischen Benutzerschnittstellen als auch deren Zusammenspiel getestet wurden. Teilnehmende waren wiederum die Mitglieder der User Research Group.

### Vorgehen und Aufgaben

Der/die Teilnehmer/in wurde begrüßt und ihm/ihr wurde erzählt, worum es im Projekt und in der Befragung geht. Die Sprachsteuerung war aktiviert, die Teilnehmenden bekamen ein Tablet mit der OmniConnect-GUI ausgehändigt. Die Sprachsteuerung wurde auf die Stimme des Teilnehmenden angelernt. Den Aufbau der Untersuchung zeigt Abbildung 12.



Abbildung 12: Studienaufbau

Die Teilnehmer bekamen schriftlich vorbereitete Aufgaben ausgehändigt, die sie mit Hilfe der Sprachsteuerung und/oder der GUI lösen sollten. Sie hatten nun Zeit, diese Aufgaben zu lösen und dadurch die GUI und Sprachsteuerung kennenzulernen. Sie wurden dazu ermutigt, schon während der Aufgabenbearbeitung laut zu denken und/oder ihre Einschätzung zu bestimmten Aspekten der vorgestellten Technik zu nennen. Je nach Gesprächsverlauf stellten die Versuchsleitenden auch aktiv Nachfragen. Anschließend erhielten sie Fragen zu verschiedenen Kriterien der Usability nach DIN EN ISO 92041 in Form eines Fragebogens.

Die Aufgaben für die Teilnehmer waren die Folgenden:

- Stellen Sie sich vor, Sie sind in der mit dem OmniConnect ausgestatteten Wohnung. Sie wollen die Wohnung verlassen und suchen Ihre Mütze. Ihr Tablet liegt im Wohnzimmer, das möchten Sie nicht holen. Sie fragen das OmniConnect-System über die Sprachsteuerung an. Fragen können Sie z.B. so: „Wo liegt meine Mütze?“ Wie gehen Sie vor?
- Sie verlassen die Wohnung. Wie kontrollieren Sie den Status der Wohnung in der App?
- Sie vermissen Ihr Handy und wollen es per OmniConnect-System suchen. Sie können auswählen, ob Sie dies per App oder Sprachsteuerung tun. Wie gehen Sie vor?
- Sie möchten einen Überblick über alle Objekte, die im System hinterlegt sind, erhalten. Wie machen Sie das?
- Sie sind unterwegs und wollen sichergehen, ob Sie die Fenster geschlossen haben. Wie gehen Sie vor?

Im Anschluss hatten die Teilnehmenden die Gelegenheit, GUI und Sprachsteuerung weiterhin auszuprobieren – in ihrem individuellen Umfang und Tempo, sie wurden dabei von der Versuchsleitung beobachtet. Ziel war es herauszufinden, welche Probleme sie bei der Benutzung von GUI und Sprachsteuerung haben. Sie bekamen einen Fragebogen ausgehändigt, den sie schriftlich beantworteten. Die Fragen bezogen sich auf 4 der 7 Usability-Kriterien der DIN EN ISO 92041: Aufgabenangemessenheit, Erwartungskonformität, Selbstbeschreibungsfähigkeit und Lernförderlichkeit. Die Fragen konnten alle mit Ja oder Nein beantwortet werden. Wenn die Probanden eine Frage mit Nein beantwortet haben, wurden sie gebeten, Probleme bei der Benutzung zu notieren und zu bewerten wie schwerwiegend das Problem ist. Die Antwortskala war fünfstufig: kosmetisches Problem, geringes Problem, mittelschweres Problem, wichtiges Problem, katastrophales Problem.

#### AP 9.6 Auswertung der Tests und Bewertung

Die vorgestellten Prototypen von GUI und Sprachsteuerung erhielten in den Nutzertests insgesamt ein gutes Feedback: Sie waren verständlich, einheitlich gestaltet, übersichtlich, gut/logisch bedienbar und intuitiv. Positiv angemerkt wurde zudem, dass die Bedienung der GUI erfolgen kann ohne, dass der/die Nutzer/in Text eingegeben werden muss.

Drei von vier Teilnehmenden äußerten, dass sie das System bei der Erledigung ihnen gestellten Aufgaben unterstützt. Die wichtigsten Funktionalitäten waren vorhanden und einfach zu bedienen. Die Teilnehmenden konnten sich zudem noch weitere Funktionalitäten vorstellen (z.B. Anbindung an das Festnetztelefon oder Alarmanlage, Kalender- oder Notizfunktion, u.ä.).

Die grafische Gestaltung entsprach den Erwartungen und Gewohnheiten aller Teilnehmenden. Es war verständlich, welche Funktion einzelne Bedienelemente haben. Diese waren dort zu finden, wo sie erwartet wurden. Die Bedienung folgte einem einheitlichen Prinzip. Das System gab allen Teilnehmenden einen (guten) Überblick über das Funktionsangebot. Eine Person bemängelte, dass die Sprachsteuerung nicht genügend Erläuterungen gibt, für die anderen Personen waren die Erläuterungen gut. Die Begriffe, Bezeichnungen, Symbole u.ä. wurden von drei Teilnehmenden als gut bewertet. Eine Person bemängelte, dass die Begriffe z.T. nicht verständlich bzw. nicht alltagsnah genug sind.

Alle Teilnehmenden konnten sich gut und ohne umfangreiche Einweisung in die Bedienung des Systems einarbeiten und schnell erlernen, welche Funktionen das System bietet. Daneben identifizierten die Teilnehmenden einige Probleme (z.B. ein kleineres, leichteres Tablet, zu kleine Schrift, weniger Delay bei der Sprachsteuerung, u.ä.).

Bei einer abschließenden Präsentation des Systems im IDEAAL-Labor wurden die entwickelten Hard- und Softwarekomponenten vorgestellt und ein vereinfachter Nutzungsablauf demonstriert (Abbildung 13). Anwesende Experten\*innen aus dem Feld zeigten ein starkes Interesse an dem Prototyp und hatten sofort spannende Ideen zur Erweiterung des präsentierten sinnvollen Anwendungsfalls. Insbesondere das durchdachte Bedienkonzept erntete Lob, da es eine intuitive, multimodale Benutzererfahrung ermöglichte. Die Befragung der Experten ergab wertvolles Feedback, das unsere Design- und Entwicklungsentscheidungen bestärkte.



Abbildung 13: Prototyp bestehend aus der Lampe, den Tags und der Sprachsteuerung sowie der grafischen Benutzeroberfläche

## **2.2 Nutzen und Verwertbarkeit**

Die im Rahmen des iterativen, nutzerzentrierten Gestaltungs- und Entwicklungsprozesses entwickelten Methoden und Werkzeuge werden bei weiteren Forschungsprojekten und Aufträgen zum Thema Nutzerevaluation zur Anwendung kommen und weiter verfeinert.

Sowohl die Erfahrungen bei der Dialoggestaltung und Prototypentwicklung kann in weiteren Projekten genutzt werden, sowohl für die Mensch-Technik-Forschung als auch in anderen Bereichen, in denen multimodale Interaktionen oder die explizite Unterstützung von Menschen gefragt sind, wie etwa in der Assistenzsystementwicklung.

## **2.3 Fortschritt Dritter**

Den Zuwendungsempfängern wurden keine besonderen Fortschritte Dritter auf dem Gebiet des Vorhabens bekannt.

## **2.4 Veröffentlichungen**

Das Projekt war mit einem eigenen Beitrag auf dem „Barcamp Health-IT“, das 10.09.2021 online stattfand und durch Berlin Partner organisiert wurde, vertreten.

Es wurden keine weiteren Veröffentlichungen im Rahmen von OmniConnect getätigt, jedoch sind aufgrund der erfolgreichen Durchführung des Projekts Beiträge zur Entwicklung multimodaler Dialogsysteme zur Unterstützung hochkomplexer Interaktionen durch interdisziplinäre Zusammenarbeit in Planung.

## OmniConnect Multiple Vernetzung von Alltagsgegen-ständen im Smart Home.

### Teilvorhaben: Projektleitung und Mensch-Maschine-Interaktion (Förderkennzeichen 16SV8307)

#### Kurzfassung

Ziel des Projektes OmniConnect war die Entwicklung einer SmartHome-Anwendung, bei der bewegliche Alltagsgegenstände oder Personen bezüglich Ihrer Bewegungen im Raum und ihres momentanen Ortes registriert werden können. Technologische Grundlage ist ein Multiarray-Radar mit passiven RFID-Tags, die auf Gegenstände aufgeklebt oder in Kleidung eingenäht werden. Die Nutzer können über Sprachbefehle oder über ein SmartPhone den jeweiligen Ort des vertagten Gegenstandes abfragen. Ziel des Teilprojektes war zum einen die Entwicklung der Nutzerschnittstelle und zum zweiten die Evaluierung mit Nutzern. Um diese Ziele realisieren wurden folgende Kernarbeitsschritte durchgeführt:

#### *Erarbeitung der finalen funktionalen Spezifikation aller Komponenten und Lastenheft*

Zur Identifikation grundsätzlicher Systemanforderungen wurde zunächst ein projektinterner Workshop mit allen beteiligten Konsortialpartnern durchgeführt. Dabei wurden, ausgehend von grundsätzlichen Fragestellungen, drei unterschiedliche Nutzergruppen und fünf grundsätzliche Use-Case-Kategorien erarbeitet und beschrieben. Diese waren durch Fragen definiert und im Einzelnen:

Grundsätzliche Fragen
I) Wo ist Objekt im Raum (Orientierung)?
II) Wo ist Mensch (Tier) im Raum? Mensch (identifiziert über Kleidung)
III) Wurde Objekt/Mensch bewegt?
IV) Welcher Zustand hat Objekt/Mensch?
V) Was hat er/sie gemacht?

Auf Basis dieser Grundsätzlichen Fragen wurden Use-Cases erarbeitet und in einem Pflichtenheft konkretisiert. Ausgewählt wurden folgende 7 Szenarien: Wo ist Schlüssel? Wo ist Franz? Hat Franz Medikamentenbox bewegt, geöffnet? Ist Fenster offen? Liegt, steht, sitzt Franz? Veränderung des Verhaltens Hat Franz beim Verlassen des Hauses etwas vergessen

Wesentlicher Teil der Arbeiten des Teilprojektes betrafen die Entwicklung von Nutzerschnittstellen.

#### Nutzerschnittstellen

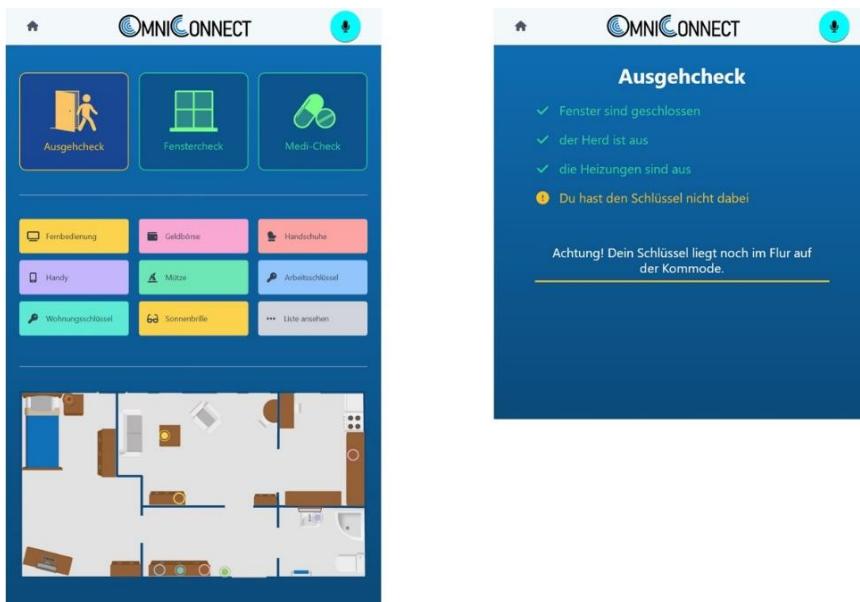
Es wurde eine akustische und eine grafische Benutzerführung zur Steuerung von Ortsanfragen und zusätzlich Datenschnittstellen zur Objekterkennung über den Partner OFFIS entwickelt. Um den Nutzungsablauf der Applikation zu visualisieren, wurden UML-Diagramme erstellt. Diese Di-

agramme zeigten die verschiedenen Schritte, Aktionen und Entscheidungspunkte, die ein Benutzer durchläuft, während er die Applikation nutzt. Dabei wurden iterativ Ergänzungen vorgenommen. Auch die Gestaltung der akustischen Schnittstelle orientierte sich an diesem Ablauf.

Auf Grundlage der UML-Diagramme wurden Wireframes erstellt. Die Wireframes sind skizzenhafte Darstellungen der Benutzeroberfläche, die die Platzierung von Elementen, Benutzeroberflächenkomponenten und grundlegende Interaktionsmöglichkeiten veranschaulichen. Diese Wireframes halfen dabei, ein grundlegendes Designkonzept zu etablieren und frühzeitig Feedback einzuholen.

Um das Designkonzept greifbarer zu machen, wurden Klick-Prototyp entwickelt. Dieser Prototyp ermöglichte es, den Nutzungsablauf der Applikation interaktiv zu erleben. Benutzer konnten durch die verschiedenen Bildschirme navigieren und grundlegende Interaktionen simulieren. Der Klick-Prototyp wurde verwendet, um erste Evaluationen durchzuführen und wertvolles Feedback von den zukünftigen Nutzern zu sammeln.

Die Abbildung zeigt eine Version der erstellten grafischen Oberflächen



Die Sprachsteuerung und die grafische Benutzerschnittstelle folgten im Wesentlichen demselben Interaktionsmuster. Für die Sprachsteuerung besteht der Aufbau aus wenigen Komponenten: Ein Mikrofon, über das der Sprachbefehl eingegeben werden kann, eine Software, die die Spracherkennung durchführt und aufgrund des verstandenen Befehls eine Anfrage an die Sensorik oder eine Datenbank schickt und einen Lautsprecher, der die Antwort auf die Anfrage ausgibt.

#### *Nutzertests der Nutzerschnittstellen*

Die Nutzerschnittstellen wurden in mehreren Nutzertests getestet. Parallel dazu wurde in ELSI-Workshops die ethische Verträglichkeit der entwickelten Konzepte evaluiert. Bei einer abschließenden Präsentation des Systems im IDEAAL-Labor wurden die entwickelten Hard- und Softwarekomponenten vorgestellt und ein vereinfachter Nutzungsablauf demonstriert.