



Deutsches Forschungszentrum für Künstliche Intelligenz (DFKI)

Trippstadter Straße 122, 67663 Kaiserslautern

Projekt ConText

Verbundvorhaben

Textile Oberflächen zur elektrischen Versorgung, informationstechnischen Kommunikation und intuitiven Interaktion mit IoT-Geräten im Smart Home

Verbundnummer: V5IVG017

Teilvorhaben

Kommunikationsinfrastrukturen und konfigurierbare Gesten-basierte Interaktionsmodalitäten für Connecting Textiles

Förderkennzeichen: 16SV8248

Bewilligungszeitraum: 1.7.2019 – 31.12.2022

Teil I – Kurzbericht

Erstellungsdatum: 10.4.2023

Projektleiter: Dr. Serge Autexier

Beteiligte DFKI-Forschungsbereiche

FB Cyber-Physical Systems (DFKI-CPS), Enrique-Schmidt-Str. 5, 28359 Bremen

FB Interaktive Textilien (DFKI InTex), Alt-Moabit 91c, 10559 Berlin

Autoren

Serge Autexier, Anke Königshulte, Katharina Lorenz, Jan Janssen, Bodo Pahlke

GEFÖRDERT VOM



Bundesministerium
für Bildung
und Forschung

Das diesem Bericht zugrunde liegende Vorhaben wurde mit Mitteln des Bundesministeriums für Bildung und Forschung unter dem Förderkennzeichen 16SV8248 gefördert. Die Verantwortung für den Inhalt dieser Veröffentlichung liegt bei den Autoren.

Teil I

Kurzbericht

I.1 Aufgabenstellung und wissenschaftlicher und technischer Stand zu Projektbeginn

Das verbindende Grundprinzip von IoT-Umgebungen besteht darin, Sensoren, Aktoren und Interaktionsgeräte dort einsetzen zu können, wo sie gebraucht werden, und ihre Funktionen nach individuellen Bedürfnissen zu kombinieren. In privaten Haushalten gibt es in der Regel keine flächendeckenden Niederspannungs- und Kommunikations-Anschlüsse. Deswegen sind IoT-Geräte zur Stromversorgung auf ökologisch problematische Batterien oder unästhetische Stromkabel und verlustbehafteten Transformatoren angewiesen. Zur Kommunikation untereinander benutzen sie oft Funktechnologien, die störanfällig und potenziell beobachtbar. Ziel des Projekts war die Entwicklung sogenannter *Connecting Textiles*, um Wände im Wohnbereich zur kabelbasierten Stromversorgung und Interaktion für IoT-Komponenten genutzt werden. Weiterhin sollten Möglichkeiten interaktiver textiler Materialien genutzt werden, um neue, intuitive Interaktionsmöglichkeiten auf textilen Oberflächen zu ermöglichen und eine responsive Umgebung als Grundlage für intelligente Assistenzen zu schaffen.

I.2 Ablauf des Vorhabens

Zur Erreichung der Projektziele wurden sieben Arbeitspakete definiert. In AP1 wurden die Anforderungen aus den Perspektiven Elektrik, Informationstechnik, Fertigung, Installation, Anwendung (insbesondere ELSI), und Interaktion erarbeitet. AP2 entwickelte das Interaktionsdesign für die Connecting Textiles ausgehend von einer Präzisierung der Use Case Szenarien. AP3 erarbeitete die mechanische Integration und Fertigung der sensorischen, elektrischen und kommunikationstechnischen Komponenten in textile Materialien inklusive Gewährleistung der elektrischen Versorgung, Absicherung und Redundanz. AP4 entwickelte das Energie- und physikalische Kommunikationskonzepts sowie die Software-Plattform, die die Kommunikationsinfrastruktur bereitstellt, sowie die Erkennung haptischer Interaktionsmuster auf textiler Touch-Sensorik. Die Arbeiten in AP2, AP3 und AP4 waren als partizipativer und iterativer Prozess geplant, mit frühzeitiger Einbeziehung von Anwendern in den Entwurfsprozess und Evaluation über die gesamte Projektlaufzeit. Zu drei jährlichen Synchronisationspunkten wurde der Stand der Arbeiten aus AP2-AP4 in Demonstrator-Versionen in AP5 zusammengeführt. Anschließend wurden in AP5 die Evaluationen mit Stakeholdern anhand der

Demonstratoren durchgeführt und die Ergebnisse zurückgespiegelt in die Arbeitspakete AP2-AP4 zur Entwicklung der nächsten Demonstratoren-Versionen. AP6 widmete sich der Vorbereitung der Verwertung der Connecting Textiles und umfasst die Information und systematischen Heranführung von relevanten Industrievertretern aus der Produktion bzw. dem Smart Home Bereich und das Aufzeigen von möglichen Geschäftsmodellen und Marktpotenzialen.

Die Maßnahmen zur Eindämmung der Covid-19 Pandemie hatten Auswirkungen auf die geplanten Arbeiten: die Nutzerpartizipation musste neu geplant werden, und wurde teilweise digital durchgeführt als auch zeitlich verschoben. Einige technische Entwicklungen verzögerten sich auf Grund von durch Zugangsbeschränkungen zu den Laboren und Lieferengpässen. Gemeinsame Integrationsarbeiten in den Demonstratoren waren schwierig, weshalb ein modulares Demonstratoren-Konzept entwickelt wurde, um dezentrales Arbeiten und integrieren zu ermöglichen. Insgesamt konnten alle geplanten Arbeiten durchgeführt werden, allerdings mit Verzögerungen, weswegen das Projekt um sechs Monat verlängert wurde.

I.3 Wesentliche Ergebnisse und Zusammenarbeit im Projekt und anderen Forschungseinrichtungen

Projektergebnisse sind zwei funktionale Fertigungsprinzipien für *Connecting Textiles* und Kontaktierungsprinzipien für IoT-Aktoren und Sensoren mittels des evaluierten universellen Konzepts der *Patches*: einerseits polarisierte Magnete zur Stromversorgung und Kommunikation, die fest integriert sind in das Textil, auf die entsprechend polarisierte Patches aufgebracht werden. Andererseits gedruckte Leiterbahnen auf der Rückseite von Vlies-Textilen bzw. in gewebte Textilie eingearbeitete leitende Garne, die durch Nadelkontakte auf der Rückseite der Patches durch Stecken in das Textil kontaktiert werden. Erstere Lösung funktioniert sehr robust, ist aber aufwendig in der Herstellung, während die zweite Lösung eine industrielle Fertigung sehr gut darstellbar ist. Weiteres Ergebnis sind funktionale Fußleisten zur Verbindung von Tapetenbahnen untereinander und Versorgung der Tapetenbahnen mit Strom und Datenkommunikation. Darauf aufbauend eine leichtgewichtige Kommunikationsinfrastruktur zur Verwaltung der Patches auf Textilien, die auch die bidirektionale Kommunikation mit Open Source Smart Home Plattformen realisiert. Zudem eine auf leichtgewichtiger Elektronik realisierbare Erkennung von selbst-definierbaren haptischen Gesten auf textilen Touch-Flächen.

Das Projekt war Teil eines Verbundprojekts zusammen mit den Partnern: BOSCH (Abteilung Mensch-Technik-Interaktion, Robert Bosch GmbH, Renningen), DITF (Deutsche Institute für Textil- und Faserforschung Denkendorf), IFAM (Fraunhofer-Institut für Fertigungstechnik und Angewandte Materialforschung, Bremen), ILI (Innovative Living Institute GmbH und Co. KG, Essen – im Unterauftrag der DITF), Norafin Industries (Germany) GmbH, Mildenau, PPMT (ERTEX Jacquard der Peppermint Holding GmbH, Berlin). Im Rahmen des Projekts wurde mit dem Design Research Lab (DRLab) der Universität der Künste Berlin kooperiert.



Deutsches Forschungszentrum für Künstliche Intelligenz (DFKI)

Trippstadter Straße 122, 67663 Kaiserslautern

Projekt ConText

Verbundvorhaben

Textile Oberflächen zur elektrischen Versorgung, informationstechnischen Kommunikation und intuitiven Interaktion mit IoT-Geräten im Smart Home

Verbundnummer: V5IVG017

Teilvorhaben

Kommunikationsinfrastrukturen und konfigurierbare Gesten-basierte Interaktionsmodalitäten für Connecting Textiles

Förderkennzeichen: 16SV8248

Bewilligungszeitraum: 1.7.2019 – 31.12.2022

Teil II

Eingehende Darstellung der durchgeführten Arbeiten

Erstellungsdatum: 6.4.2023

Projektleiter: Dr. Serge Autexier

Beteiligte DFKI-Forschungsbereiche

FB Cyber-Physical Systems (DFKI-CPS), Enrique-Schmidt-Str. 5, 28359 Bremen

FB Interaktive Textilien (DFKI InTex), Alt-Moabit 91c, 10559 Berlin

Autoren

Serge Autexier, Anke Königshulte, Katharina Lorenz, Jan Janssen, Bodo Pahlke

GEFÖRDERT VOM



**Bundesministerium
für Bildung
und Forschung**

Das diesem Bericht zugrunde liegende Vorhaben wurde mit Mitteln des Bundesministeriums für Bildung und Forschung unter dem Förderkennzeichen 16SV8248 gefördert. Die Verantwortung für den Inhalt dieser Veröffentlichung liegt bei den Autoren.

Inhaltsverzeichnis

Inhaltsverzeichnis	2
Liste der Abbildungen	3
Teil II Eingehende Darstellung der durchgeführten Arbeiten.....	6
II.1 Verwendung der Zuwendung und erzielte Ergebnisse.....	6
II.1.1 AP1 Anforderungsanalyse	6
II.1.2 AP2 Interaktionsdesign	12
II.1.3 AP3 Textile Elektronik.....	21
II.1.4 AP5 Demonstratoren und Evaluation.....	38
II.1.5 AP6 Nachhaltigkeit der Projektergebnisse & Co-Design	51
II.1.6 AP7 Projektmanagement	54
II.2 Positionen des zahlenmäßigen Nachweises	56
II.3 Notwendigkeit und Angemessenheit der geleisteten Arbeit	56
II.4 Voraussichtlicher Nutzen und Verwertbarkeit der Ergebnisse	56
II.4.1 Fortschritte bei anderen Stellen	56
II.5 Veröffentlichung der Ergebnisse	56

Liste der Abbildungen

Abbildung 1: Customer Journey am Beispiel eines Seniorenheimbetreibers.....	7
Abbildung 2: Zusammenfassung der Befragungsergebnisse zu den Aspekten der Produktidee	8
Abbildung 3: Datenbank zur Erfassung und Verwaltung der Anforderungen	9
Abbildung 4: Workshop-Toolkit für digitale Workshops	10
Abbildung 5: Darstellung eines Interaktionskonzept und Anwendungsszenarios, das von einer Teilnehmerin im Workshop entwickelt wurde	11
Abbildung 6: Chancen, Risiken, Stärken und Schwächen der Produktidee	11
Abbildung 7: Funktions-Tapete neben einer Zimmertür	13
Abbildung 8: Grundgerüst für Demonstratorenbau.....	13
Abbildung 9: Demonstrator mit Komponentenmodulen.....	14
Abbildung 10: Szenarien-Karten illustrierter Anwendungsszenarien.....	15
Abbildung 11: Beispiel: Flow Chart des Interaktionskonzepts für den Anwendungsfall Beleuchtung (erste Iteration)	16
Abbildung 12: Exploration Kontaktierungsmöglichkeiten in Form von Mockups (Druckknopf, Haken und Ösen, Magnet, Nadeln/ Pins).....	17
Abbildung 13: Nutzer*innentests zur Dimensionierung und Position der Symbole auf den Patches.....	19
Abbildung 14: Exploration von Umsetzungs- und Gestaltungsmöglichkeiten für das visuelle LED-Feedback der Patches	19
Abbildung 15: funktionsfähige Patches zur Steuerung von Licht, Klima, Rollo und Sound...	20
Abbildung 16: Initiales und Plug-and-Play-artiges Funktionsmodell eines elektronischen Verbindungsmoduls (Patch) Foto: Katrin Greiner.....	20
Abbildung 17: Materialexploration zum Aufbau textiler Schalter und Touch-Sensoren: Leitende Schicht: Bremen 43 g/m2, 100% PA, versilbert, Shieldex (1), Bern 10-16 g/m2, 100% Nylon, versilbert, Shieldex (2); Abstandsschicht: Volumen-/Wattevlies 150 g/m2, 100% Polyester (3), Schaumstoff 2-3mm, 100% PU (4), doppelter Oberstoff, 250-300 g/m2, 100% Baumwolle (5), Abstandsgewebe 3mm, 100% PES (6), Filz 140 g/m2, 35% Wolle, 65% Viskose (7); widerstandsfähige Schicht: Velostat 0,1 mm (8)	21
Abbildung 18: Komponenten des Funktionsmodells (Patches): Textilcover mit Symbol zur Identifikation der Funktion; textiler Touchsensor (Bremen – Velostat – Bremen) Diffusor, Rahmen, Platine (Fraunhofer IFAM)	22
Abbildung 19: Konzept zum Aufbau der Tapete.....	22
Abbildung 20: Funktionsmuster zur Demonstration der flexiblen Kontaktierung von Patch und Tapete (Vlies und Noradell).....	23
Abbildung 21: Entwicklung der Fußleiste zur Stromversorgung einer Tapetenbahn.....	23

Abbildung 22: Exploration verschiedener Gestaltungsvarianten für das visuelle LED-Feedback.....	24
Abbildung 23: Muster für die Funktionsschicht der textilen Infrastruktur: Siebdruck auf Vlies (IFAM) und Gewebe mit leitendem Garn (DITF)	25
Abbildung 24: Testaufbau für die Widerstandsmessungen zur Auswahl eines geeigneten leitenden Garns	25
Abbildung 25: Teil-Demonstratoren zur Erprobung textiler Sensorik, haptischer Interaktionen und verschiedenen nicht permanenten Kontaktierungsverfahren der Addons (Patches) Foto1: Katrin Greiner	27
Abbildung 26: Entwurf Patchfeld	28
Abbildung 27: Erste Iterationen der Patchhardware.....	28
Abbildung 28: Patch Gateway Revision 1 und 2	29
Abbildung 29: Initiales Systemdiagramm	31
Abbildung 30: Finales Systemdiagramm.....	32
Abbildung 31: ConText Hub - Konfiguration der Patches.....	33
Abbildung 32: Interface zum Trainieren/Testen der Mustererkennung – hier mit einer Maus gezeichnet	34
Abbildung 33: Interface zum Trainieren/Testen der Mustererkennung – hier auf dem Demonstrator gezeichnet	35
Abbildung 34: Regeln für "Sonne" und „Mond“ in KREE	35
Abbildung 35: Regel in Home Assistant zur Definition der Geste "Mond"	36
Abbildung 36: Interaktion zu Geste "Mond" in Home Assistant.....	37
Abbildung 37: S1-Demonstrator im BAALL; S1- und S2-Demonstrator im BOL	38
Abbildung 38 Technikaffinität nach ATI.....	39
Abbildung 39: Clustern der ethisch relevanten Aspekte in sieben Kategorien	41
Abbildung 40: Portfolio-Darstellung des AttrakDiff und Profil der Wortpaare des AttrakDiff..	43
Abbildung 41: QUESI nach Altersgruppe	44
Abbildung 42 Interaktionsfeld S1 und optimierte Variante S2	45
Abbildung 43 Interaktionsfeedback auf LED-Matrix-Display bei S2	46
Abbildung 44 Abbildung LED-Matrix S1 und optimierte Variante S2.....	47
Abbildung 45: Portfolio-Darstellung AttrakDiff, Vergleich Evaluation 1 und 2 und Profil der Wortpaare des AttrakDiff, Vergleich der Eva-luation 1 (orange) und 2 (blau)	48
Abbildung 46: Task Level Success, Vergleich Evaluation 1 (helle Balken) und 2 (dunkel gefüllte Balken).....	49
Abbildung 47: Mobiler kleine Demonstrator-Version (InTex).....	50
Abbildung 48: Großer modularer Demonstrator im BOL	51

Abbildung 51 Mockup des S1-Demonstrators als Diskussionsgrundlage für Gestaltungsentscheidungen	52
Abbildung 50: Ergebnis des Workshops: Konkrete Planung der ersten Demonstrator-Version	52
Abbildung 51 Funktionsmodelle als Diskussionsgrundlage für den Co-Design-Workshop mit Textil-Expert*innen	53
Abbildung 52: DAI-Labor während der Langen Nacht der Wissenschaften am 2. Juli 2022..	55
Abbildung 53: BOL-Symposium im Berlin Open Lab am 26. Januar 2023.....	55

Teil II

Eingehende Darstellung der durchgeführten Arbeiten

II.1 Verwendung der Zuwendung und erzielte Ergebnisse

Die Zuwendungen umfassen größtenteils Personalausgaben, welche zur Bearbeitung der unten beschriebenen Arbeitspakete verwendet wurden. Außerdem waren Reisekosten Teil der Zuwendungen. Diese wurden für Arbeitstreffen zur Abstimmung der Arbeitsschritte zwischen den Projektpartnern, für Projekttreffen mit Verbundpartnern, Stakeholder-Befragungen, Innovationsassessments mit Industrievertretern und Teilnahme an Vernetzungstreffen und Abschlussstreffen mit Projekten aus derselben Bekanntmachung. Weiterhin wurde das Projekt auf Workshops und Foren präsentiert als Teil der Öffentlichkeitsarbeit. Außerdem werden die wichtigen Positionen des zahlenmäßigen Nachweises aufgeführt und die Notwendigkeit und Angemessenheit der geleisteten Arbeiten erläutert. Weiter wird auf den voraussichtlichen Nutzen der im Projekt erzielten Ergebnisse und bekannt gewordene Fortschritte bei anderen Stellen eingegangen.

Im Folgenden werden zu jedem Arbeitspaket die Beiträge und Ergebnisse des DFKI beschrieben.

II.1.1 AP1 Anforderungsanalyse

Im Rahmen dieses Arbeitspakets wurden von den Projektpartnern unterschiedliche Werkzeuge eingesetzt, wie z. B. Workshops, Expertenbefragungen und Marktanalysen, um die Anforderungen an ein ConText-System zu entwickeln. Die gesammelten Anforderungen wurden in einer zentralen Anforderungsdatenbank verwaltet.

II.1.1.1 TAP 1.1 Anforderungskatalog

Im Rahmen dieses TAP wurden die Anforderungen an das ConText-System entwickelt, der Stand der Technik im open source Smart Home Plattform bewertet und ein Konzept für einen projektbegleitenden MEESTAR-Workshop entwickelt.

Anforderungsentwicklung

Unter Federführung des Verbundpartner BOSCH wurde von den Projektpartnern die Methoden und Werkzeuge Question Zero, Use Case Beschreibung, Customer Journey und Expertenbefragung eingesetzt, um die Anforderungen an ein ConText-System zu entwickeln.

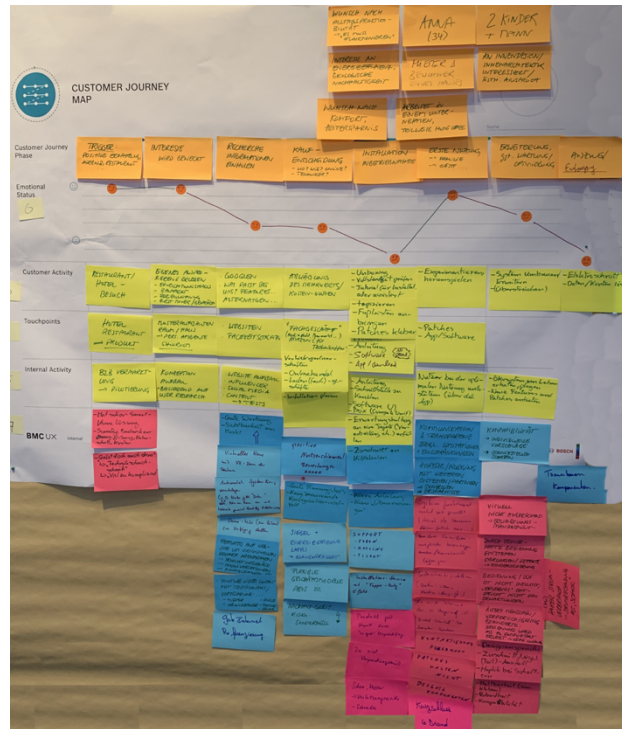


Abbildung 1: Customer Journey am Beispiel eines Seniorenheimbetreibers

Im Rahmen eines Workshops bei BOSCH im September 2019 beteiligte sich das DFKI an Erarbeitung der „Question Zero“, den Use Case Beschreibungen und darauf basierenden Customer Journeys. Die erarbeitete „Question Zero“, die den Kern der Projektvision wiedergab, war wie im Folgenden formuliert:

- *Wir wollen für Hausbesitzer als auch Betreiber von kommerziellen/öffentlichen Gebäuden funktionale Patches (für die Interaktion, Sensierung usw.) anbieten, die auf Raumboberflächen flexibel kontaktierbar angebracht werden können.*
- *Die Raumboberflächen fungieren dabei als Daten- und Energieschnittstelle, um im Vergleich zu konventionellen batteriebetriebenen Funk- und kabelgebundenen Systemen eine flexible Umgestaltbarkeit bei nicht vordergründig sichtbarer Technik zu ermöglichen.*
- *Im Rahmen eines nutzerzentrierten Entwicklungsprozesses erstellen wir textilbasierte Demonstratoren, die die Möglichkeiten der Energie- und Datenübertragung sowie von integrierbarer Sensorik und Aktorik aufzeigen.*

Auf Basis der Question Zero wurden Use Cases definiert und textlich beschrieben: die Neu-/Ummöblierung einer Wohnung im Seniorenheim, die Renovierung einer Altbauwohnung oder die Einrichtung eines Baby-/Kinderzimmers. Diese Use Case Beschreibungen bildeten die Basis für die Customer Journeys, einer Skizzierung der Abfolge von Erfahrungen, die ein Nutzer, Kunde oder allgemein Stakeholder mit einem angebotenen Produkt und/oder einer angebotenen Dienstleistung macht (siehe Abbildung 1).

	Aspekt der Produktidee	Ausprägung
nicht funktional	Starke Positionierung	Ästhetik
		Von herausragender Bedeutung.
		Gewährleistung
		Aus einer Hand.
		Preis/Leistung
		Entscheiden, vor allem im gewerblichen Bereich..
Nutzung	Im Spannungsfeld	Unversehrtheit Tapete
		Muss gewährleistet sein (Beschädigung und Verschleiß).
		Elektrosmog
		(Irrationale) Angst der Endkunden vor Strahlung.
		Zukunftssicherheit
		Ist wichtig.
Installation		Vernetzung
		Vernetzte als auch Stand-alone Lösung denkbar.
		Funktionsumfang
		Eher nur Interaktion. Weniger Integration von Aktoren und Sensoren.
		Interaktionsmodus
		Ob reine Wandinteraktion ausreicht, ist fraglich.
		Verlust von Patches
		Im gewerblichen Bereich Diebstahl-/Vandalismusgefahr. Im Heimbereich kein Problem.
		Positionierung Patches
		Bei Planung eher erforderlich, bei Nutzung eher nicht mehr.
		Sichtbarkeit
		Je nach Anwendungsfall erforderlich oder nicht gewünscht.
		Ausrüstungsgrad
		Eher einzelne Zone(n).
		Aufbringung Tapete
		Machbarkeit Unterputzlösung? Evtl. nicht entscheidend, da nur Ausstattung einzelner Zonen.
		Individualisierungsgrad Tapete
		Universelle Tapete wünschenswert. Ggf. bringen individuelle Lösungen Vorteile .

Abbildung 2: Zusammenfassung der Befragungsergebnisse zu den Aspekten der Produktidee

Im Weiteren beteiligte sich das DFKI an den unter Federführung von BOSCH durchgeführten Expertenbefragung mit drei Entwicklern/Betreibern von Senioren Heimen. Ziel war Erfassung der Bewertung der Projektidee. Abbildung 2 fasst tabellarisch die Befragungsergebnisse zusammen und clustert die Aspekte der Produktidee nach nicht-funktionalen und funktionalen (Nutzung, Installation) Anforderungen. Zusammengefasst lässt sich festhalten, dass die Experten der Produktidee sehr aufgeschlossen gegenüberstanden, sie jedoch auch deutliche Schwierigkeiten bzw. Herausforderungen sahen bis zu einem marktfähigen Produkt.

Schließlich wurden in einer Anforderungsdatenbank die Anforderungen den Phasen der Customer Journey und Aktivitäten der Stakeholder, wie z. B. Installateur, Endkunden, zugeordnet. Weiterhin wurden die funktionalen und technischen Anforderungen der einzelnen Systemkomponenten, wie z. B. Tapete, Patch, erfasst. Die Anforderungsdatenbank wurde mit Hilfe eines Issuetrackers innerhalb des GitLabs des DFKI realisiert. Die Referenzierung zwischen den Datenbankobjekten und Beschreibung der Objekte erfolgte mit Hilfe von definierten Labels innerhalb des Issuetrackers (Abbildung 3).

Stand der Technik open-source Smart-Home Lösungen

Im Rahmen der Anforderungsanalyse hat das DFKI verschiedene State-of-the-Art open-source Smart-Home Lösungen verglichen. In die nähere Auswahl kamen hier Home Assistant (<https://www.home-assistant.io/>), ioBroker (<https://www.iobroker.net/>) und openHAB2 (<https://www.openhab.org/>). openHAB2 hat hierbei in den letzten Jahren etwas an Relevanz verloren durch die relativ komplizierte Struktur und nicht ganz einfacher Nutzerschnittstelle. Dahingegen hat sich ioBroker in den letzten Jahren für viele Bastler bewährt, stellt aber noch nicht eine so komplette Lösung wie Home Assistant dar.

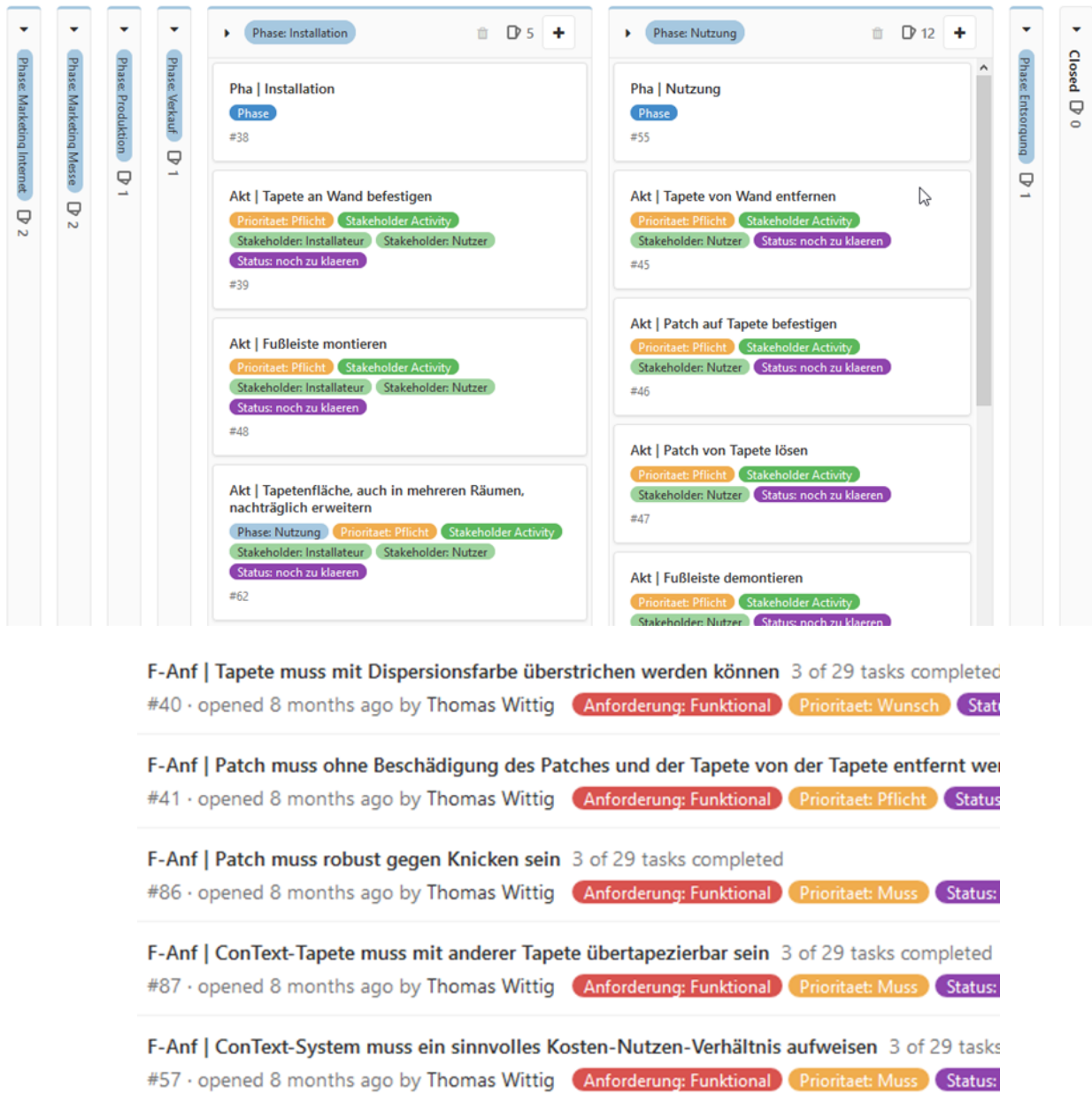


Abbildung 3: Datenbank zur Erfassung und Verwaltung der Anforderungen

Home Assistant hat sich als Standard auf dem DIY Smart-Home Markt durchgesetzt und beinhaltet Anknüpfungspunkte für fast alle Hersteller auf dem Internet-of-Things Markt. Mittels MQTT¹ ist es auch möglich automatische Einrichtung neuer Geräte durchzuführen. Ebenfalls ist es möglich eine eigene Integration Bibliothek zu entwickeln, um auch Dienste mittels HTTP oder anderen beliebigen Protokollen anzusprechen. Dank des gut durchdachten User Interface eignet es sich auch für unerfahrene Nutzer und bietet auch die Möglichkeit für alle im System vorhandene Geräte automatisch ein Dashboard zu erstellen und mittels einer einfach zu nutzenden grafischen Schnittstelle können schnell eigene Dashboards erstellt werden. Die

¹ MQTT – MQ Telemetry Transport ist ein offener Industriestandard für Telemetriedaten und mittlerweile der Quasi Standard für Internet-of-Things



Abbildung 4: Workshop-Toolkit für digitale Workshops

Wahl der Smart-Home Plattform fiel somit auf Home Assistant, da dies für die Zielgruppe am einfachsten und flexibelsten zu nutzen ist und die mit Abstand beste Unterstützung von Geräten verfügt.

Für die Kommunikation der textilen Elemente wurde nach einer stabilen Übertragungstechnik gesucht, die zwei Datenleitungen nutzt, um Störungen entgegenzuwirken. Hierfür bieten sich sowohl RS-485² als auch CAN³ -Bus an. Beide verfügen über eine hohe Störimmunität und sind stark in der Industrie verbreitet. CAN-Bus (Controller-Area-Network) ist ein Bus System welches primär für die Datenübertragung in Fahrzeugen entwickelt wird. Es bietet hierbei sehr viele Features und ist sehr flexibel. Allerdings wird hierfür ein spezieller CAN-Bus Chip benötigt, welcher auch speziell angesprochen werden muss. RS-485 hingegen kann theoretisch auch ohne weiteren Chip genutzt werden, am einfachsten wird hier allerdings ein Übersetzer Chip genutzt, welcher direkt seriell angesprochen werden kann und die Übertragung und den Empfang selbstständig erledigt. Ein weiterer Vorteil von RS-485 ist, dass es wesentlich offener ist und nur die Übertragungsschicht angibt. Es kann ein komplett eigenes Datenübertragungsprotokoll entwickelt werden. Dies ermöglicht es auch die übertragenen Daten bei Bedarf zu verschlüsseln, was mit CAN-Bus nicht direkt möglich ist.

Partizipative, nutzerzentrierte Anforderungsentwicklung

In partizipativen Workshops, die aufgrund von Corona als Online-Sessions stattfanden, wurden Bedürfnisse, Wünsche und Vorstellungen von potenziellen Nutzer*innen aus verschiedenen Haushalten an das zu entwickelte System erforscht. Inspirierende Materialien, die in Form eines Toolkits (Abbildung 4) an die Haushalte verschickt wurden, ermöglichten es den Teilnehmenden eigene Visionen eines Smart-Home-Systems zu entwickeln und diese prototypisch in ihrer Wohnung auszuprobieren. Stellvertretend für verschiedene Funktionen und Eigenschaften des Systems wurden sogenannte „Patches“, die durch einfache Materialien wie

² RS-485 – offener Industrie Kommunikationsstandard über zwei Leitungen

³ CAN – Controller Area Network ist ein offener Industrie Kommunikationsstandard über zwei Leitungen der vor allem viel in Fahrzeugen genutzt wird.

Papiere, Pappe oder Filz repräsentiert wurden, in der Wohnung positioniert, um unterschiedliche Anwendungsszenarien zu simulieren. Die Teilnehmenden äußerten sich dabei u.a. zu Gestaltungsaspekten, Funktionalitäten und Interaktionsmöglichkeiten mit dem Wunsch-System sowie möglichen Anwendungsszenarien (Abbildung 5).



Abbildung 5: Darstellung eines Interaktionskonzept und Anwendungsszenarios, das von einer Teilnehmerin im Workshop entwickelt wurde

Basierend auf den auf den Ergebnissen der Nutzer*innen-Workshops konnten erste Anforderungen an das System hinsichtlich Funktionsumfang, Usability und Ästhetik abgeleitet werden.

II.1.1.2 TAP 1.2 Chancen & Risikoanalyse

Ziel des TAP war die Bewertung relevanten Aspekte der Produktidee hinsichtlich ihrer Stärken, Schwächen, Chancen und Risiken. Ausgangspunkt war die Expertenbefragungen aus Abschnitt II.1.1.1. Die Arbeiten fanden ebenfalls unter Federführung von BOSCH statt unter Beteiligung aller Partner, die Ergebnisse zu Chancen, Risiken, Stärken und Schwächen der Projektidee sind in Abbildung 6 dargestellt.

Umfeld- getrieben	Chancen (begünstigen Marktentwicklung) <ul style="list-style-type: none"> ▪ Use cases für Stand-alone Lösung ▪ Ästhetische Vielfalt ▪ Nachrüstlösung für einzelne Wandzonen 	Risiken (beeinträchtigen Marktentwicklung) <ul style="list-style-type: none"> ▪ Gewährleistung ▪ Angst vor Elektromog ▪ Zukunftssicherheit ▪ Verlust von Patches
	Stärken (besser als existierende Produkte) <ul style="list-style-type: none"> ▪ Neuartige Wandinteraktion ▪ Flexible Positionierung Patches ▪ Gestalterische Akzentuierung ▪ Individualisierung Tapete 	Schwächen (schlechter als existierende Produkte) <ul style="list-style-type: none"> ▪ Hoher Preis ▪ Sicherstellung Unversehrtheit ▪ Interaktion an der Wand reicht nicht aus ▪ Keine Unterputzlösung

Abbildung 6: Chancen, Risiken, Stärken und Schwächen der Produktidee

II.1.2 AP2 Interaktionsdesign

Ziel des Arbeitspakets Interaktionsdesign war die Definition und detaillierte Ausarbeitung und illustrierte Darstellung des Anwendungsszenarios zur Verdeutlichung der Interaktionen. Rechercheergebnisse und Inhalte des Anwendungsszenarios wurden in Workshops mit potenziellen Systemnutzer*innen überprüft und erweitert.

Basierend auf den Workshopergebnissen wurden Anforderungen und Wünsche an formalästhetische und Usability-Aspekte der Interaktionsflächen und -elemente abgeleitet, sowie ELSI-Aspekte nach dem MEESTAR-Modell diskutiert und analysiert. Dabei spielten Themen wie z.B. Datenschutz, Steuerbarkeit, Achtung der Privatsphäre, Selbstbestimmung u. Ä. eine zentrale Rolle als Ausgangspunkt für die Entwicklungen.

Weiteres Ziel des Arbeitspakets war die Entwicklung eines zuverlässigen nicht-permanenten Verbindungssystems zwischen konventionellen Komponenten und elektrotextilen Elementen. Dafür wurden robuste und möglichst weitgehend produktionskonforme Ansätze für textilbasierte sowie textilintegrierte Sensoren und Aktoren in textilen Strukturen konzipiert und exploriert. Zur Integration von Sensorik und Aktorik waren neuartige Lösungen im Bereich der Verbindungstechniken erforderlich. Diese basieren einerseits auf robusten und vielversprechenden Lösungen aus der Literaturrecherche und andererseits auf den technischen Produktionsmöglichkeiten der Konsortialpartner*innen.

Weiterhin wurde ein Anforderungskatalogs für Formfaktoren der konventionellen Elektronik für die textilkompatible permanente Integration (z.B. Löten, Crimpen, Nieten, Klemmen, Kleben etc.) und für die Auswahl der konventionellen elektronischen Bauteile erstellt. Dabei wurden Lösungen mit ähnlichen Problemstellungen und hoher Kompatibilität mit dem textilen Trägermaterial und deren Anwendung konzipiert und angepasst. Ziel war die Konstruktion der elektronischen Verbindungselemente (passende Anschluss- und Gehäuseformen bzw. Integrationstechniken) und deren Evaluation im Rahmen von Usability-Tests mit Funktionsmodellen, sowie deren Bewertung für die Produktentwicklung.

II.1.2.1 TAP 2.1 Anwendungsszenario

Auf Basis der Ergebnisse des Arbeitspakets 1 (Abschnitt II.1.1 Anforderungsanalyse) haben sich die Projektpartner darauf verständigt, ein Anwendungsszenario zur Steuerung unterschiedlicher Komponenten eines Wohnraums (z. B. Wohnzimmer zu Hause, Hotelzimmer, Seniorenheimzimmer) für die weiteren Untersuchungen und den Bau der Demonstratoren zu wählen. In diesem Anwendungsszenario werden die Wände des Zimmers nicht vollflächig mit der Funktionstapete ausgestattet, sondern nur eine einzelne Wandzonen. Konkret kann das bedeuten, dass eine schmale Funktions-Tapete, auch als Nachrüstlösung, neben einer Zim-

mertür aufgebracht wird. Abbildung 7 zeigt dieses Anwendungsszenario zu Beginn der Demonstratorenentwicklung. Im weiteren Projektverlauf wurde insbesondere die Platzierung des Patch- und Interaktionsfeld verändert.



Abbildung 7: Funktions-Tapete neben einer Zimmertür

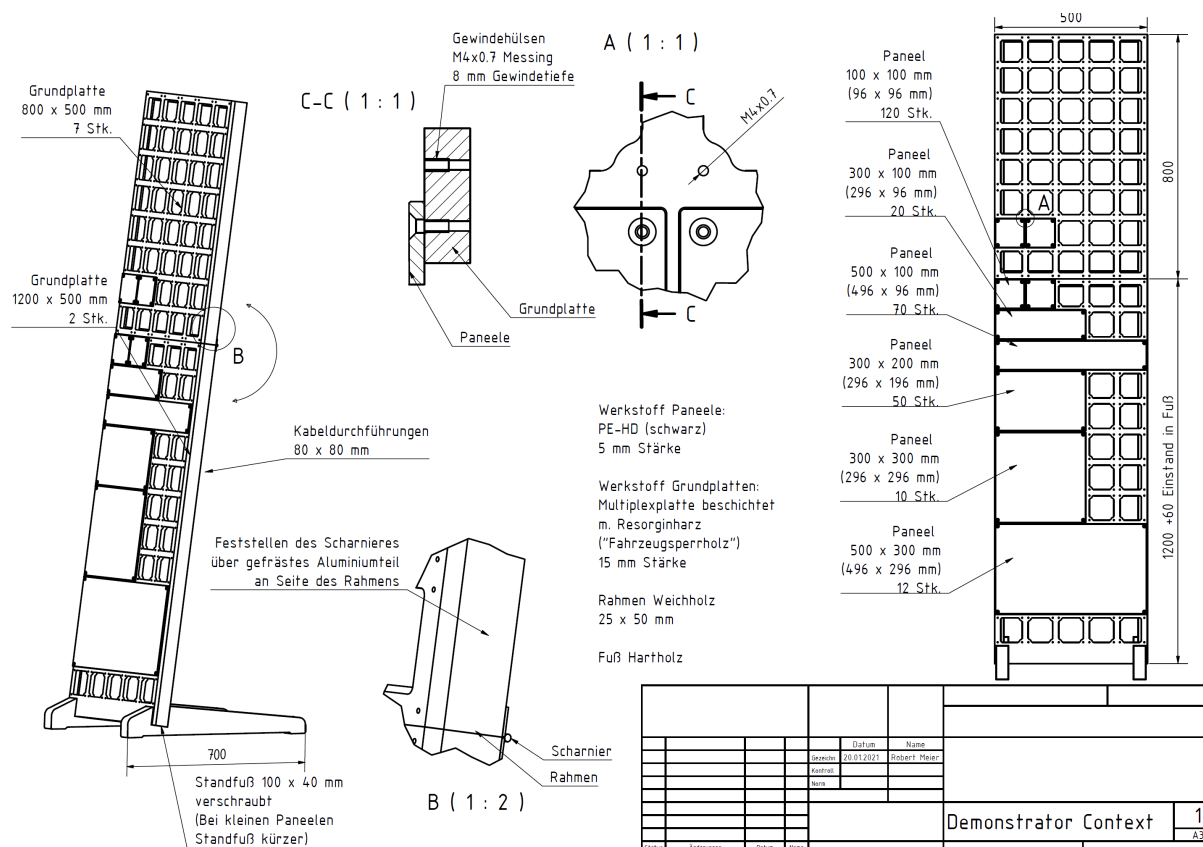


Abbildung 8: Grundgerüst für Demonstratorenbau

Dieses gewählte Anwendungsszenario hat darüber hinaus den Vorteil, dass der zugehörige Demonstrator zum Transport geeignet ist, was den Projektpartnern ein verteiltes Arbeiten bei

den durch die Coronazeit gegebenen Einschränkungen ermöglichte. Damit jeder Projektpartner seine Komponenten, für die er verantwortlich war, weitestgehend selbstständig entwickeln konnte, wurde gemeinsam mit allen Partnern der Demonstrator modular aufgebaut. Dies erfolgte mit Hilfe eines Grundgerüsts, auf die einzelne Komponentenmodule in einem 100 mm x 100 mm Rastermaß, z.B. Patches, Patchfeld und Interaktionsfeld, aufgeschraubt werden können (Abbildung 8). Die Stellen des Demonstrators, die nicht für Komponentenmodule genutzt wurden, konnten mit Platten unterschiedlicher Größe bestückt werden, um eine ebene Fläche zu realisieren (Abbildung 9).



Abbildung 9: Demonstrator mit Komponentenmodulen

Die partizipativen Nutzer*innen-Workshops, die mit sechs Personen aus dem Anwendungsfeld Privathaushalt mittels partizipativer Designmethoden durchgeführt wurden (Abschnitt II.1.1.1), lieferten wertvolle Erkenntnisse im Hinblick auf Bedürfnisse und Wünsche potenzieller Nutzer*innen und dienten als Grundlage zur Erstellung von Nutzer*innen-Profilen und einer umfangreichen Sammlung von Anwendungsfällen. Diese wurden durch interne Ideation-Sessions mit dem Projektteam ausgearbeitet und in Form von Storyboards visualisiert

und beschrieben (Abbildung 10). Darüber hinaus konnten erste Ideen für einfache haptische Interaktionen abgeleitet werden, sowie sinnvolle Kopplungsmöglichkeiten mit anderen IoT-Geräten aus Nutzer*innenperspektive.



Abbildung 10: Szenarien-Karten illustrierter Anwendungsszenarien

Das Interaktionsdesign für ausgewählte einfache Grundfunktionen (Beleuchtung, Temperaturregulation, Rollo) wurde im Rahmen von internen Co-Design-Workshops entwickelt. Der Bedienablauf wurde in Form von Flow-Charts dokumentiert und implementiert (Abbildung 11). Nachdem das in den S1-Demonstrator implementierte Interaktions-Design der drei ausgewählten Funktionen im Rahmen der S1-Evaluation mit 19 Proband*innen getestet wurde (siehe Abschnitt II.1.4), wurde das Interaktions-Konzept basierend auf den Erkenntnissen entsprechend optimiert. Es ergaben sich dementsprechend folgende Interaktionen:

Beleuchtung:

1. Zum Ein- oder Ausschalten einer Lampe oder einer Beleuchtungsgruppe wird das entsprechende Licht-Patch durch eine einfache Touchgeste berührt.
2. Zum Verändern der Lichtintensität, Lichtfarbe oder Lichttemperatur einer Lampe oder Beleuchtungsgruppe wird zunächst der Einstellungsmodus automatisch unmittelbar nach Anschalten der Lampe durch eine einfache Touchgeste oder explizit durch einen Longpress auf das entsprechende Patch aktiviert. Das visuelle Feedback des Patches zeigt diesen durch leichtes Blinken des Glühbirnen-Symbols auf dem Patch an. Zusätzlich visualisiert die LED-Matrix durch einen farbigen Streifen die aktuellen Leuchteinstellungen der ausgewählten Lampe. Durch Streichbewegungen auf dem Interaktionsfeld nach oben und unten kann die Lichtintensität reguliert werden. Durch Streichen auf dem Interaktionsfeld nach rechts und links (wie auf einer Skala) wird die Lichtfarbe oder -temperatur verändert. Eine Art 'Cursor' zeigt die ausgewählte Einstellung auf der LED-Matrix in Echtzeit an.

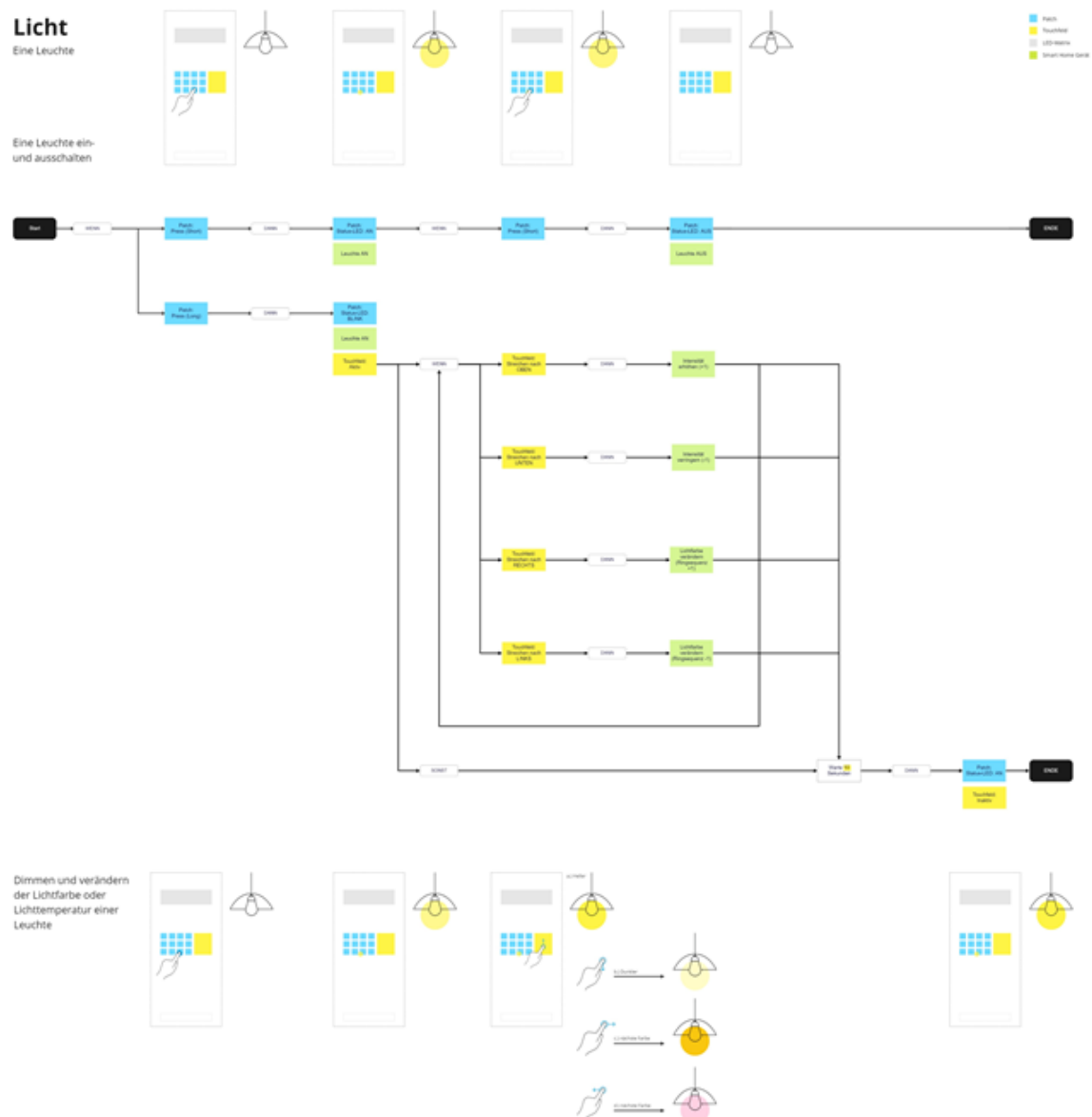


Abbildung 11: Beispiel: Flow Chart des Interaktionskonzepts für den Anwendungsfall Beleuchtung (erste Iteration)

Klima:

1. Zum Anzeigen der eingestellten Raumtemperatur wird das Temperatur-Patch durch eine einfache Touchgeste berührt. Die LED-Matrix zeigt die aktuell eingestellte Raumtemperatur an.
2. Um die Temperatur in einem Raum zu verändern, wird der Einstellungsmodus durch eine einfache Touchgeste auf das Temperatur-Patch aktiviert. Das visuelle Feedback des Patches zeigt diesen durch leichtes Blinken des Temperatur-Symbols auf dem Patch an. Zusätzlich zeigt die LED-Matrix die aktuell eingestellte Raumtemperatur an.

Durch Streichbewegungen auf dem Interaktionsfeld nach oben und unten (wie auf einer Skala) kann die Raumtemperatur erhöht oder verringert werden. Die Anzeige visualisiert die eingestellte Temperatur anhand der Gradzahl auf der LED-Matrix.

- Um die Temperatur in anderen Räumen zu verändern, wird der Einstellungsmodus durch eine einfache Touchgeste auf das Temperatur-Patch aktiviert. Das visuelle Feedback des Patches zeigt diesen durch leichtes Blinken des Temperatur-Symbols auf dem Patch an. Das visuelle Feedback der LED-Matrix zeigt die Temperatur des aktuellen Raumes an. Durch Streichen auf dem Interaktionsfeld nach rechts und links (wie auf einer Skala) können andere Räume (Ringsequenz) ausgewählt werden. Der ausgewählte Raum wird mit dem gespeicherten Namen (z.B. SZ für Schlafzimmer oder AZ für Arbeitszimmer) auf der LED-Matrix angezeigt. Durch Streichbewegungen auf dem Interaktionsfeld nach oben und unten kann die Raumtemperatur des aktuell ausgewählten Raumes verändert werden.

Rollo:

- Für die manuelle Bedienung der Rollos wird zunächst der Einstellungsmodus durch eine einfache Touchgeste auf das entsprechende Rollo-Patch aktiviert. Das visuelle Feedback des Patches zeigt diesen durch leichtes Blinken des Rollo-Symbols auf dem Patch an. Zusätzlich zeigt die LED-Matrix die aktuelle Position des Rollos durch eine schematische Visualisierung an. Durch Streichbewegungen auf dem Interaktionsfeld nach oben und unten (wie auf einer Skala) oder eine Berührung an der gewünschten Rollo-Position auf dem Interaktionsfeld, wird das Rollo entsprechend gesteuert und fährt in die gewünschte Position. Zusätzlich wird die eingestellte Rollo-Position unmittelbar auf LED-Matrix angezeigt.

Des Weiteren wurden verschiedene Kontaktierungsmöglichkeiten von Patch und textiler Infrastruktur in Form einer Tapete exploriert. Mit Hilfe einfacher Materialien wurden unterschiedliche Konzepte wie leitende Druckknöpfe, Haken, Magnete und Nadeln als einfache Mockups umgesetzt erprobt und hinsichtlich Anwenderfreundlichkeit, Handhabung, Funktionalität, formalästhetischer Aspekte und textiler Fertigung evaluiert.

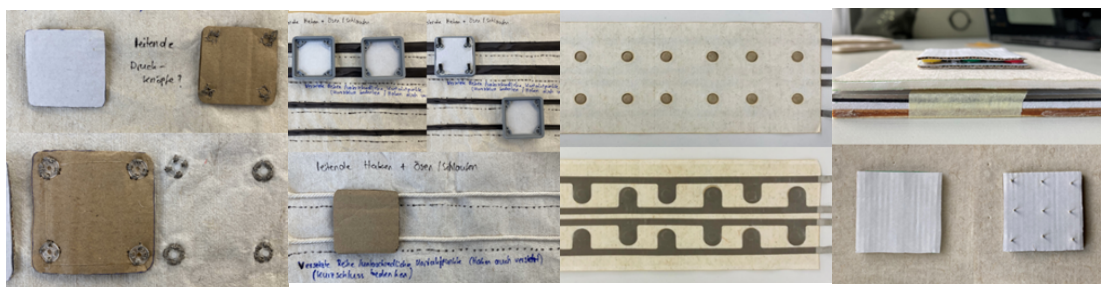


Abbildung 12: Exploration Kontaktierungsmöglichkeiten in Form von Mockups (Druckknopf, Haken und Ösen, Magnet, Nadeln/ Pins)

Aufgrund der einfachen und angenehmen Handhabung bei der Anbringung der Patches an die Tapete, wurde für das initiale Funktionsmodell zunächst das magnetische Kontaktierungsverfahren umgesetzt, um möglichst schnell einen funktionsfähigen Demonstrator zu entwickeln, mit dem Funktionen und Interaktionen erlebbar gemacht werden konnten. Durch die Polung der Magnete richten sich die Patches immer korrekt am Positionierungsraster aus und es besteht ein geringes Fehlerpotenzial beim Kontaktieren der Patches mit der textilen Infrastruktur. Die Nutzenden müssen dabei nichts beachten. Nachteil dieser Lösung ist jedoch, dass die Kontaktstellen in der Tapete visuell sichtbar sind und ein festes Positionierungsraster vorgegeben ist. Die Patches können also nur eingeschränkt flexibel auf der Wand angebracht werden. Außerdem erfolgt die Integration der Magnete in die Tapete manuell und ist daher sehr zeitaufwändig und auch wenig nachhaltig, da eine Vielzahl von Magneten benötigt werden.

Aus diesem Grund wurde im zweiten Schritt für den finalen Demonstrator zusätzlich ein alternativer Lösungsansatz mit einem Kontaktierungsverfahren durch Nadeln verfolgt. Dieser erlaubt eine vollkommen uneingeschränkte Flexibilität bei der Kontaktierung der Patches mit der Tapete, die sich in einen industriellen Fertigungsprozess umsetzen lässt.

Es wurde ein Online-Workshop mit den Textilexpert*innen des Projektkonsortiums zum Thema “Umsetzung der textilen Infrastruktur zur Kontaktierung von Patch und Tapete” durchgeführt, um die favorisierten Konzepte hinsichtlich ihrer industriellen Fertigung zu diskutieren und Konzepte für die textile Fertigung mit unterschiedlichen Produktionsverfahren zu entwickeln (siehe Abschnitt II.1.5.1).

Das alternative Kontaktierungs-Konzept mit Nadeln wurde in Kooperation mit dem Fraunhofer IFAM entwickelt, prototypisch umgesetzt und funktional erfolgreich getestet (siehe Abschnitte II.1.3.3 & II.1.3.4).

II.1.2.2 TAP 2.2 Elektronische Verbindungsmodule / Connecting Textile Patches

Formalästhetische Aspekte sowie Aspekte der Anwenderfreundlichkeit wurden im Rahmen partizipativer Workshops mit sechs Teilnehmenden (siehe Abschnitt II.1.1.1) thematisiert.

Zur Exploration geeigneter Gestaltungsvorschläge für das visuelle Feedback der Patches wurden verschiedene Varianten in Form einfacher Papier-Mockups hinsichtlich Dimensionierung und Positionierung der Symbole mit vier Nutzer*innen ausprobiert. Die Testpersonen wurden gebeten die verschiedenen Varianten nacheinander durch eine Touchinteraktion zu aktivieren (Abbildung 13). Mittels Beobachtung und Befragung konnten Hinweise für eine geeignete Interaktionsgestaltung abgeleitet werden.

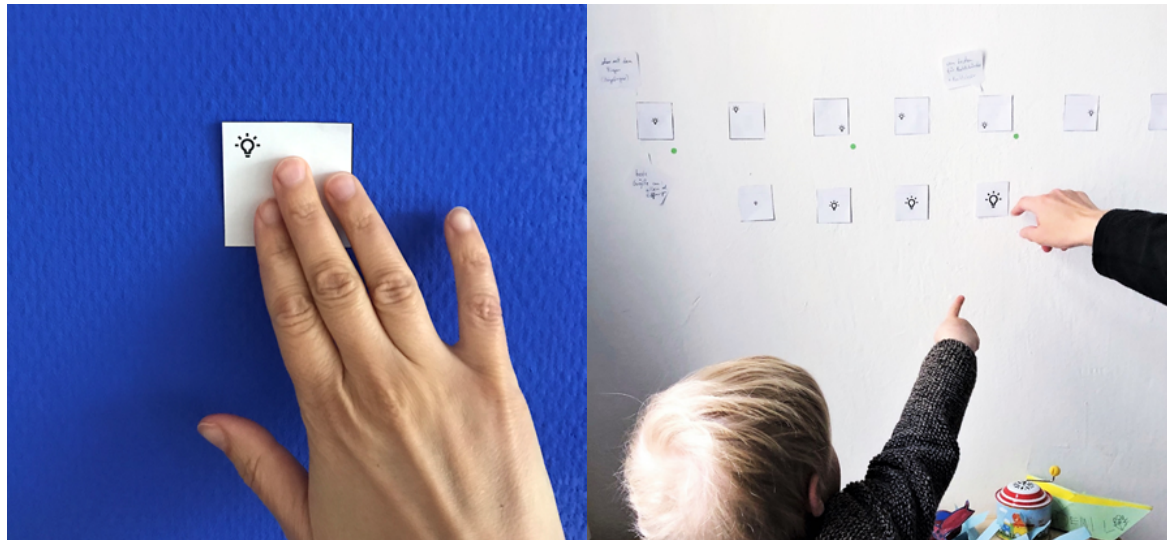


Abbildung 13: Nutzer*innentests zur Dimensionierung und Position der Symbole auf den Patches

Es wurden verschiedene Gestaltungsvarianten, Materialien und Fertigungstechniken für die Umsetzung des LED-Feedbacks erprobt und basierend auf dem Feedback von potenziellen Nutzerinnen und Nutzer hinsichtlich Ästhetik und Verständlichkeit evaluiert (Abbildung 14).



Abbildung 14: Exploration von Umsetzungs- und Gestaltungsmöglichkeiten für das visuelle LED-Feedback der Patches

Ausgehend vom Nutzer*innen-Feedback wurden Patches für vier ausgewählte Anwendungsfälle umgesetzt (Abbildung 15).



Abbildung 15: funktionsfähige Patches zur Steuerung von Licht, Klima, Rollo und Sound

II.1.2.3 TAP 2.3 Elektronische Verbindungsmodule - temporäre Module

Gemeinsam mit dem Fraunhofer IFAM und dem DITF wurde ein Plug-and-Play-artiges Funktionsmodell eines elektronischen Verbindungsmoduls (Patch) entwickelt (Abbildung 16). Im Rahmen des iterativen Entwicklungsprozesses wurden verschiedenen Konzepte zur Umsetzung der Touch-Interaktion (siehe Abschnitt II.1.3.4), des visuellen Feedbacks (siehe Abschnitt II.1.2.2) und unterschiedliche Kontaktierungsmöglichkeiten von Patch und Tapete (siehe Abschnitt II.1.2.1) hinsichtlich Anwenderfreundlichkeit, Funktionalität und formalästhetischer Aspekte exploriert und getestet. Die technische Entwicklung und Fertigung des prototypischen Funktionsmodells wurden in einer Anleitung dokumentiert.

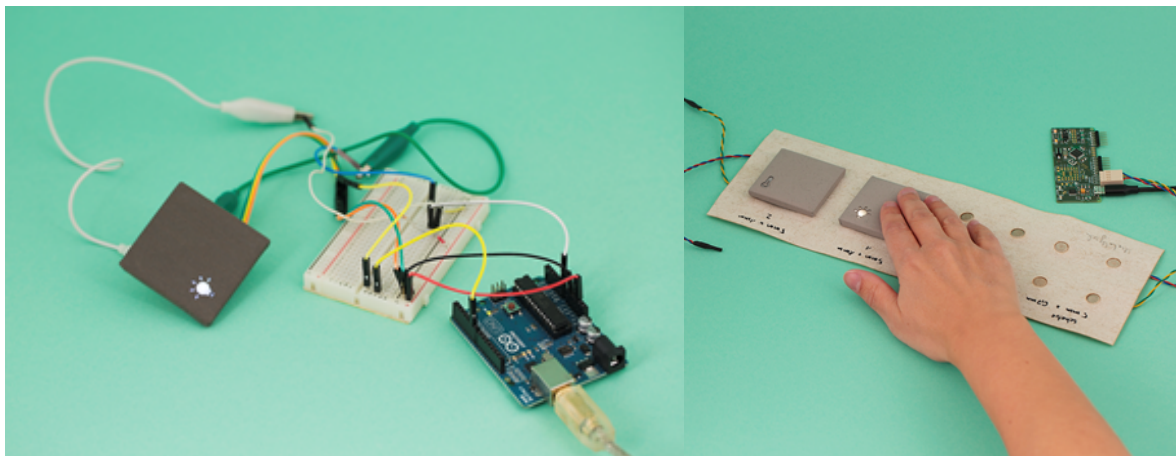


Abbildung 16: Initiales und Plug-and-Play-artiges Funktionsmodell eines elektronischen Verbindungsmoduls (Patch) Foto: Katrin Greiner

II.1.3 AP3 Textile Elektronik

II.1.3.1 TAP 3.1 Basis Connecting Textiles: Herstellung von Geweben und Vliesstoffen als Trägermaterial für sensorische Strukturen

Das DFKI hatte in diesem Teilarbeitspaket des Verbundprojekts keine Arbeitsanteile.

II.1.3.2 TAP 3.2 Entwicklung textiler Halbzeuge für sensorische Strukturen auf / in Connecting Textiles

Für die Umsetzung textiler Sensorik und der textilen Infrastruktur wurden zunächst verschiedene leitende Textilien und Garne recherchiert, bewertet und in einer Tabelle dokumentiert. Für die Realisierung der integrierten Sensorik wurden zwei Konzepte zur Umsetzung der Touchinteraktion mit verschiedenen Materialien untersucht (Abbildung 17).

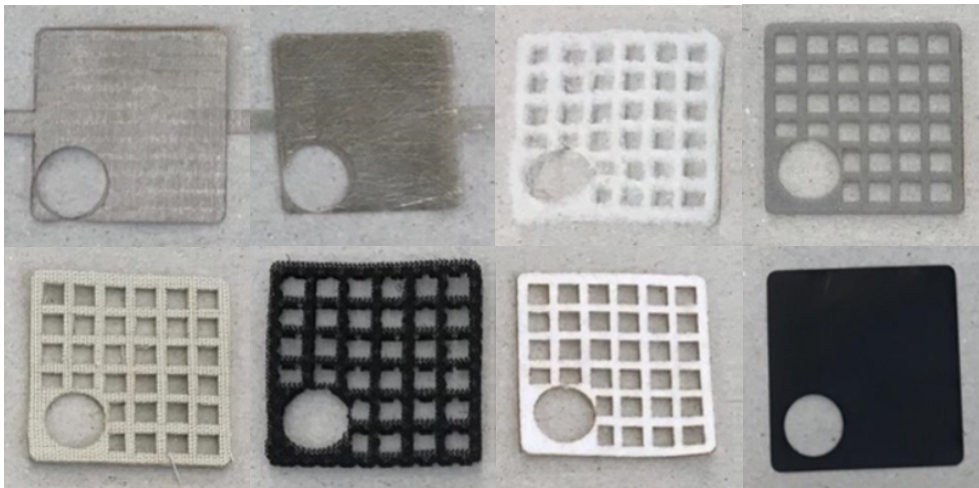


Abbildung 17: Materialexploration zum Aufbau textiler Schalter und Touch-Sensoren: Leitende Schicht: Bremen 43 g/m², 100% PA, versilbert, Shieldex (1), Bern 10-16 g/m², 100% Nylon, versilbert, Shieldex (2); Abstandsschicht: Volumen-/Wattevlies 150 g/m², 100% Polyester (3), Schaumstoff 2-3mm, 100% PU (4), doppelter Oberstoff, 250-300 g/m², 100% Baumwolle (5), Abstandsgewebe 3mm, 100% PES (6), Filz 140 g/m², 35% Wolle, 65% Viskose (7); widerstandsfähige Schicht: Velostat 0,1 mm (8)

Es wurden sechs verschiedene Touchsensoren mit unterschiedlichen Materialkonfigurationen aufgebaut und erprobt. Der resistive Touchsensor (Aufbau mit Velostat und Shieldex Bremen) wurde in das finale Funktionsmodell integriert, da dieser hinsichtlich Funktionalität und User Experience am meisten überzeugte (Abbildung 18).

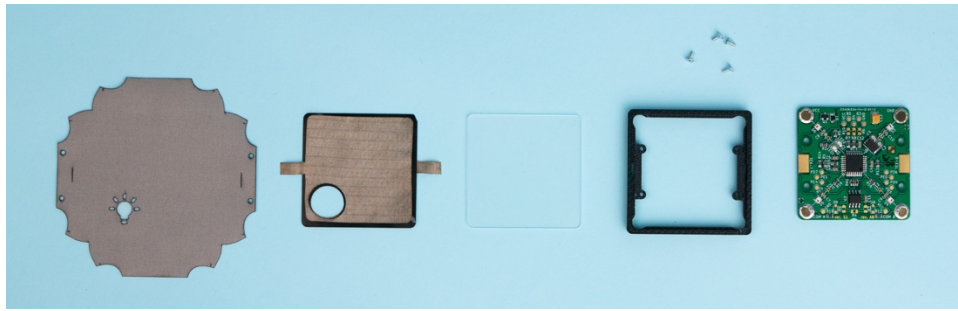


Abbildung 18: Komponenten des Funktionsmodells (Patches): Textilcover mit Symbol zur Identifikation der Funktion; textiler Touchsensor (Bremen – Velostat – Bremen) Diffusor, Rahmen, Platine (Fraunhofer IFAM)

II.1.3.3 TAP 3.3 Entwicklung sensorischer Strukturen zur Integration in Textilien

Ein alternatives Kontaktierungs-Konzept mit Nadeln, welches eine freie Kontaktierung des Patches auf der Tapete ermöglicht, sowie eine industrielle Fertigung der textilen Infrastruktur, wurde in Kooperation mit dem Fraunhofer IFAM entwickelt (Abbildung 19), prototypisch umgesetzt und funktional erfolgreich getestet. Die Tapete besteht aus drei Schichten: einer magnetische Rückschicht zur Erhöhung der Haftung von Patch und Tapete, einer Funktionsschicht mit integrierten Leiterbahnen zur Stromversorgung und Datenkommunikation und der Deckschicht aus Vlies zur Isolation der Leiterbahnen und Individualisierungsmöglichkeit der Tapete.

Auf der Rückseite des Patches sind Nadeln entsprechend eines spezifischen Elektrodenmusters integriert, welche die Deckschicht der Tapete durchstechen und sich mit der Funktionsschicht verbinden. Die in der Funktionsschicht enthaltenen Leiterbahnen sind abwechseln polarisiert und hinsichtlich der Geometrie auf das Elektrodenmuster der Patches so abgestimmt, dass sie eine flexible Positionierung der Patches in vertikaler und horizontaler Richtung ermöglichen.

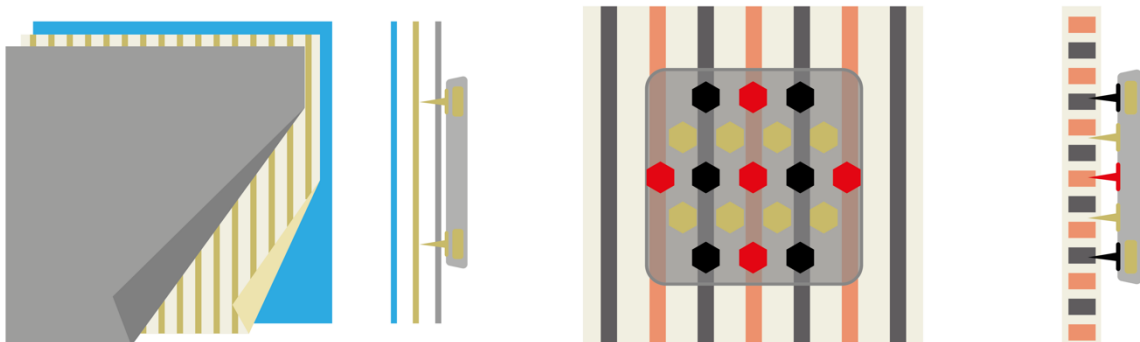


Abbildung 19: Konzept zum Aufbau der Tapete

Basierend auf dem Konzept wurde ein Funktionsmuster (Vlies und Nora Dell) zur Überprüfung des Lösungsansatzes und der Geometrien des Elektrodenmusters des Patches in Kombination mit dem Streifenraster der Tapete hergestellt, welches die flexible Positionierung der Patches auf der Tapete demonstrieren (Abbildung 20).

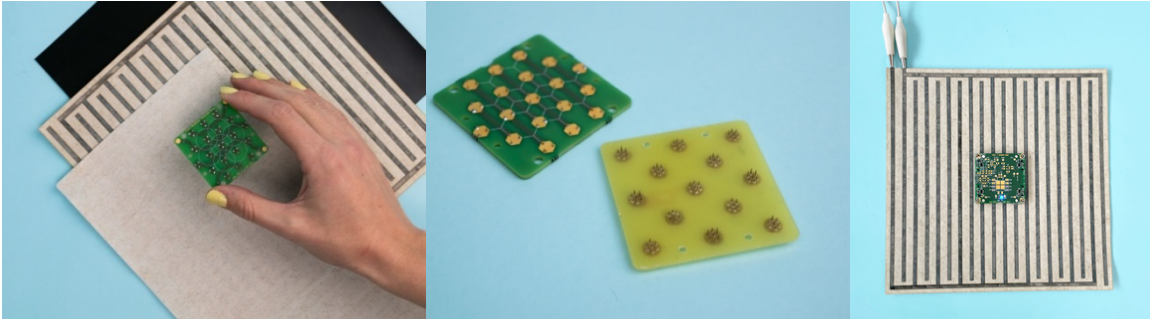


Abbildung 20: Funktionsmuster zur Demonstration der flexiblen Kontaktierung von Patch und Tapete (Vlies und Noradell)

Nach dem erfolgreichen Funktionstest wurde die Funktionsschicht des textilen Bus-Systems entsprechend definierter Parameter mit zwei verschiedenen Herstellungsverfahren, als Gewebe und als Vlies umgesetzt und verglichen (siehe Abschnitt II.1.3.3).

Zur Stromversorgung und Kontaktierung der Tapeteninfrastruktur wurden in Zusammenarbeit mit dem Fraunhofer IFAM eine Fußleiste entwickelt (Abbildung 21).

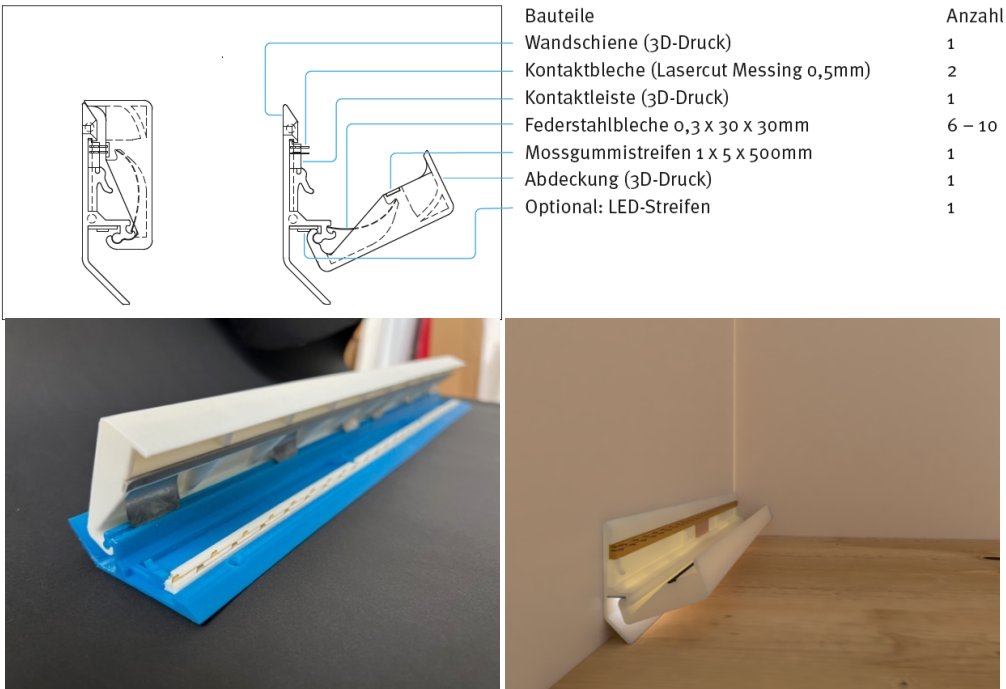


Abbildung 21: Entwicklung der Fußleiste zur Stromversorgung einer Tapetenbahn

Die Fußleiste verbindet die Tapeteninfrastruktur mit der signalverarbeitenden und stromversorgenden Hardware. Wandleiste und Abdeckung sind aus Kunststoffen gefertigt und können in der Länge angepasst und verlängert werden. Die Abdeckung ist durch die Nutzung von Federblechen zu öffnen, um die textile Tapeteninfrastruktur einzulegen. Die Kontaktbleche sind bei geöffneter Fußleiste passend zu den Leiterbahnen ausrichtbar. Die Federbleche wirken bei geschlossener Fußleiste Druck auf die Tapete mit Leiterbahnen aus und die Abdeckung drückt die Leiterbahnen auf die Kontaktbleche zur Kontaktierung. Messungen ergaben einen mittleren Widerstand von ca. 130 Ohm.

II.1.3.4 TAP 3.4 Erprobung der entwickelten Sensorik

Es wurden unterschiedliche Umsetzungsmöglichkeiten für das visuelle LED-Feedback des Patches sowie für die Umsetzung der Touchinteraktion exploriert und hinsichtlich Umsetzbarkeit, Wahrnehmung und Ästhetik untersucht (siehe Abbildung 22 und Abschnitte II.1.2.2 & II.1.3.2).

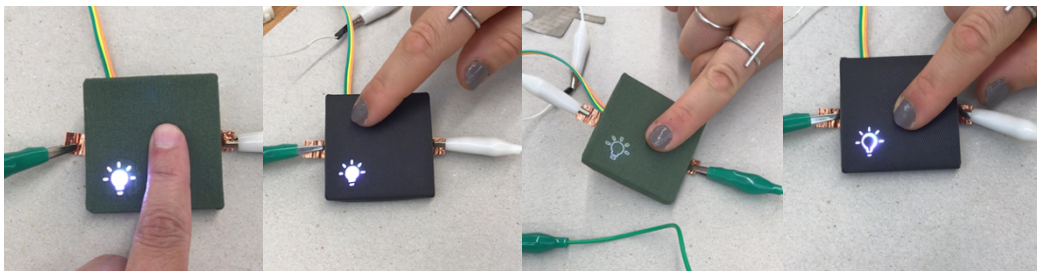


Abbildung 22: Exploration verschiedener Gestaltungsvarianten für das visuelle LED-Feedback

Für die Entwicklung einer textilen Infrastruktur (in Abschnitt II.1.3.3AP3.3 beschrieben) wurden verschiedenen Fertigungsverfahren und Materialien miteinander verglichen, um die Tapete entsprechend der gewünschten Minimalanforderungen umzusetzen. Das Fraunhofer IFAM stellte für die Funktionstests ein vliesbasiertes Muster zur Verfügung, bei dem die Leiterbahnen mittels Siebdruck mit einer leitenden Silberpaste aufgebracht wurden (Abbildung 23, linkes Bild). Das DITF setzte die Funktionsschicht als Gewebe mit integrierten leitenden Garnen in je zwei unterschiedlichen Bindungsarten um (Körperbindung, Atlasbindung, siehe Abbildung 23, mittleres und rechtes Bild).



Abbildung 23: Muster für die Funktionsschicht der textilen Infrastruktur: Siebdruck auf Vlies (IFAM) und Gewebe mit leitendem Garn (DITF)

Um Empfehlungen für geeignete leitfähige Garne für das Gewebe abzuleiten, wurde ein Mockup mit Leiterbahnen aus verschiedenen Materialien (1. Karl Grimm High-Flex 7314, 7x1 Kupfer verzinkt, 2. Karl Grimm High-Flex 3981 7x1 Kupfer blank, 3. Madeira HC12), die mit einer Thermotransferfolie auf einem Vlies fixiert wurden, aufgebaut (siehe Abbildung 24). Als

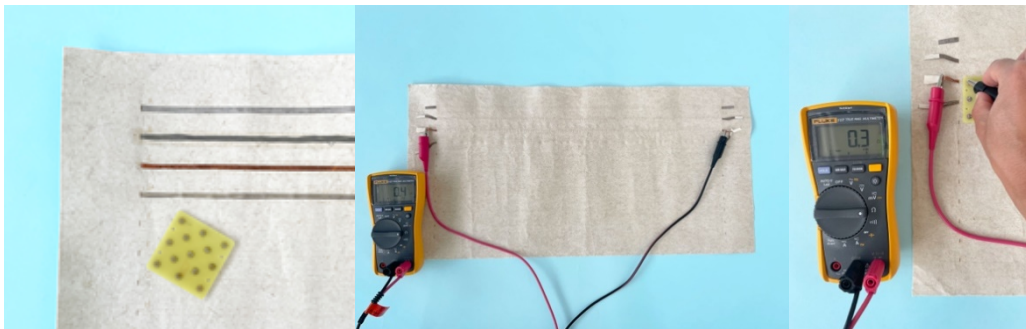


Abbildung 24: Testaufbau für die Widerstandsmessungen zur Auswahl eines geeigneten leitenden Garns

Referenz diente eine Leiterbahn, die aus dem leitenden Gewebe (Shieldex® Nora Dell) hergestellt wurde, da dieses Material beim Funktionsmodell bereits zuverlässig funktionierte. Die exemplarischen Leiterbahnen haben eine Länge von 50 cm und eine Leiterbahnbreite von ~3,4 mm. Zur Identifikation eines geeigneten Garnes wurde der Widerstand der Leiterbahn sowie der Widerstand zwischen Leiterbahn und einem angeschlossenen Patch an zwei Positionen gemessen (kleinstmöglicher und größtmöglicher Abstand zwischen Patch und Messpunkt auf der Leiterbahn; siehe Abbildung 24). Die Ergebnisse der Messung sind in der Tabelle 1 dokumentiert.

Material	Widerstand der Leiterbahn (50 cm)	Widerstand von Leiterbahn zu Patch Position-Minimum	Widerstand von Leiterbahn zu Patch Position Maximum
Nora Dell (Gewebe) (doppelt)	0,6 Ohm	0,6 Ohm	0,6 Ohm
Karl Grimm High-Flex 7314 7x1 Kupferverzinnt (5 Fäden)	0,1 Ohm	0,1 Ohm	0,1 Ohm
Karl Grimm High-Flex 3981 7x1 Kupfer blank (8 Fäden)	0,3 Ohm	0,3 Ohm	0,6 - 0,9 Ohm
Madeira HC12 (10 Fäden)	2,1 Ohm	0,6 Ohm	2,0 Ohm

Tabelle 1: Ergebnisse der Widerstandsmessungen von prototypischen Leiterbahnen mit unterschiedlichen leitenden Materialien

Alle getesteten Garne zeigten eine ausreichende Leitfähigkeit für die Energieversorgung. Die Leitfähigkeit des Madeira HC12-Garns wird erreicht durch eine dünne Silberbeschichtung, die Polyamid Filamente bedeckt. Die textile Verarbeitung führt zu einem Abrieb der Silberbeschichtung und kann somit zu lokalen Unterbrechungen der Leitfähigkeit führen. Die Karl-Grimm-Garne bestehen aus gedrehten Polyamid Garnen, die mit einer dünnen Metallfolie ummantelt sind, die weniger empfindlich gegen Abrieb ist. Aus diesem Grund wurde das Karl Grimm High-Flex 3981 für die weitere Verarbeitung ausgewählt.

Anschließend wurden die von den Projektpartner*innen gefertigten Muster der Funktionsschicht nach dem gleichen Schema durch Widerstandsmessungen der Leiterbahn und zwischen Leiterbahn und Patch untersucht. In Tabelle 2 sind die Messergebnisse dargestellt. Die Leitfähigkeit der drei Proben (Siebdruck auf Vlies, Gewebe mit Karl Grimm High-Flex 3981; Körperbindung und Atlasbindung) ist ausreichend für die Energieversorgung. Die gewebten Proben zeigen eine höhere Leitfähigkeit als die bedruckte Probe. Die Gewebefindung hat kaum einen Einfluss auf die Leitfähigkeit.

Muster	Fertigung	Widerstand Leiterbahn	Widerstand von Leiterbahn zu Patch Position-Minimum	Widerstand von Leiterbahn zu Patch Position-Maximum
Vlies mit aufgedruckten Leiterbahnen auf Silberbasis	Siebdruck	8.8 Ohm	~ 0.45 Ohm	~ 8 Ohm
Gewebe mit eingewebten Leiterbahnen	Köperbindung	~ 0.45 Ohm	~ 0.35 Ohm	~ 0.55 Ohm
Gewebe mit eingewebten Leiterbahnen	Atlasbindung	1 Ohm	0.2 Ohm	~ 1.1 Ohm

Tabelle 2: Ergebnisse der Widerstandsmessungen der gewebten und gedruckten Muster der textilen Infrastruktur

II.1.3.5 TAP 3.5 Entwicklung und Herstellung von Demonstratoren zur Demonstration textiler Sensorik und haptischer Interaktionsmuster

Für die Erprobung der Sensorik und der haptischen Interaktionsmuster, als Teil der textilen Tapete sowie als flexibles Modul (Patches, welche auf der Tapete kontaktiert werden), wurden in mehreren Iterationsstufen verschiedene Teil-Demonstratoren entwickelt, wie in Abschnitten II.1.2 und AP2 und AP3 beschrieben. Dabei wurden die verschiedenen Teilaspekte der Gesamtidee hinsichtlich ihrer technischen Machbarkeit überprüft: Umsetzung der Touchinteraktion auf dem Patch zur Aktivierung und Steuerung der verbundenen Smart Home Geräte, sowie entsprechendes visuelles LED-Feedback und das magnetische Kontaktierungsverfahren von Patch und Tapete, sowie die flexible Kontaktierung mit Nadeln und einer Fußleiste zur Kontaktierung der Tapetenbahn als textile Infrastruktur (Abbildung 25).

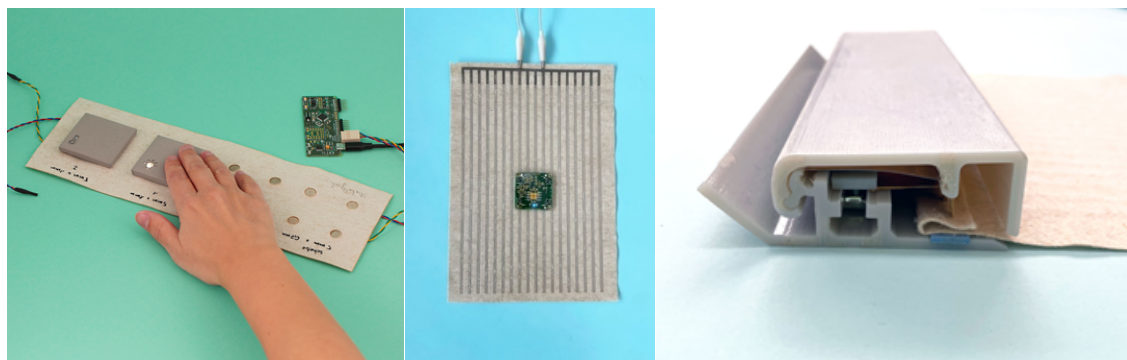


Abbildung 25: Teil-Demonstratoren zur Erprobung textiler Sensorik, haptischer Interaktionen und verschiedenen nicht permanenten Kontaktierungsverfahren der Addons (Patches) Foto1: Katrin Greiner

II.1.3.6 TAP 4.1 Connecting Textiles Basis Stromversorgungs- und Kommunikationssystem

In enger Zusammenarbeit mit dem Fraunhofer IFAM wurden erste Konzepte für die Kontaktierung der Sensorik und der Tapete entworfen. Ziel war es eine verlässliche vierpolige Kontaktierung zu entwickeln. Dies geschah in enger Zusammenarbeit mit Abschnitt II.1.3.

Hierbei hat sich für die ersten Entwürfe die Kontaktierung mit vier Magneten im Sensorpatch und in die Tapete integrierte Magnete sehr verlässlich herausgestellt (siehe Abbildung 26).

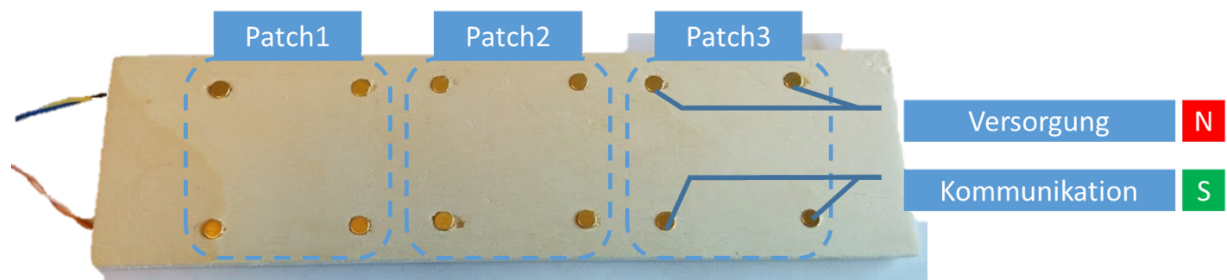


Abbildung 26: Entwurf Patchfeld

Mit diesem ersten Konzept wurde dann an einer technischen Realisierung gearbeitet. Hierfür wurden Versuchsaufbauten mittels Mikrocontroller Boards wie dem Arduino Uno aufgebaut.

Basierend auf diesen ersten Versuchsaufbauten hat das IFAM in Zusammenarbeit mit dem DFKI die Hardware iterativ angepasst und eigene Platinen entwickelt (siehe Abbildung 27).

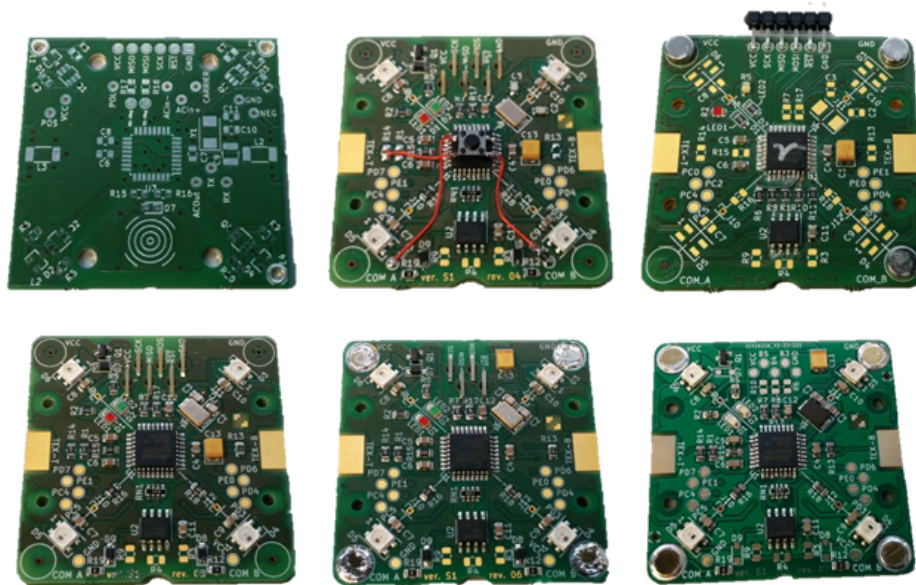


Abbildung 27: Erste Iterationen der Patchhardware

Um die Patches mit der Infrastruktur der Tapete zu verbinden, wurde ein Gateway entwickelt, womit die Tapete über einen USB-Anschluss direkt an einen Computer angeschlossen werden kann (siehe Abbildung 28).

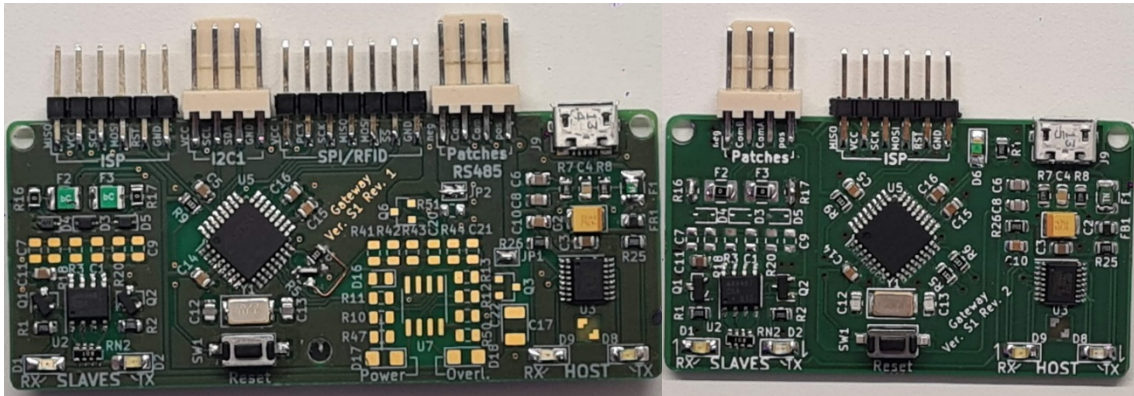


Abbildung 28: Patch Gateway Revision 1 und 2

Auf den Patches sowie auch auf dem Gateway läuft ein einfaches Text-basiertes Protokoll welches primär vom IFAM entwickelt wurde. Über diese Protokoll ist es möglich Register auf einem Patch zu überwachen, wie zum Beispiel den Status, ob ein Patch gerade gedrückt wird, oder Befehle an ein Patch zu senden, wie das Anschalten der LEDs auf eine bestimmte Farbe. Um die Integrität der Daten zu verifizieren, verfügt das Protokoll auch über eine Prüfsumme, um gegen Übertragungsprobleme geschützt zu sein. Eine Verschlüsselung ist in der aktuellen Version des Protokolls nicht integriert, da die genutzten Microcontroller keine Hardwareseitige Unterstützung für Verschlüsselung haben und die Speicherressourcen zu gering sind, um sie dort zu implementieren. Dies kann aber in einer weiteren Iteration ohne Probleme in das Protokoll integriert werden.

Da man neben einem Verständnis für die Technologie auch physischen Zugang zur Tapete benötigt, um die Daten abzugreifen ist hier nicht von einem Risiko auszugehen. Die Daten, die auf der Tapete übertragen werden, sind auch aus Sicherheitssicht nicht sonderlich relevant, da dies nur Daten von den Patches beinhaltet, wie zum Beispiel ob gerade eine Taste gedrückt wird. Die Daten, die vom Smart-Home selbst ins System zurückgespielt werden, sind nur Informationen für die LEDs. Ein Angreifer könnte anhand der übertragenen Daten im schlimmsten Fall auslesen, ob eine Lampe ein- oder ausgeschaltet ist. Das Gateway wurde dann an das ConText Hub (siehe Abschnitt II.1.3.7) angebunden.

Neben dem Patch und Gateway System wurden vom DFKI noch weitere Komponenten für das ConText System umgesetzt. Dies sind LED-Matrix, LED-Strip, RFID-Leser, Abstandssensor, Temperatur/Luftfeuchte Sensoren und Helligkeitssensoren.

Aufgrund der besseren Reaktionszeit und Zuverlässigkeit wurden die meisten der Komponenten, wenn möglich direkt an den Raspberry Pi 4 angeschlossen. Diese kommunizieren dann über einen lokalen TCP-Socket mit dem ConText Hub (siehe Abschnitt II.1.3.7).

Die Kernkomponente hierbei ist die LED-Matrix mit 8*32 Pixeln – diese wird unter anderem als Anzeige für die Interaktionen genutzt. Dieses wurde direkt an den Raspberry Pi angeschlossen und verfügt über ein eigenes 5-Volt Netzteil. Die Software wurde in Python3 umgesetzt, startet automatisch auf dem Demonstrator beim Start und meldet sich selbstständig beim ConText Hub an. Die Software ermöglicht sowohl Anzeige von Text als auch Anzeige von Data64 Encodierten Grafiken über das ConText Protokoll.

Des Weiteren wurde ein einfacher RFID-Leser (RC522) mit dem SPI-Anschluss des Raspberry Pi verbunden und ebenfalls mit einem einfachen Python Skript ausgestattet, welches beim Erkennen eines RFID-Tags eine Nachricht an das ConText Hub schickt.

Um zu erkennen, ob sich ein Nutzer vor der Tapete befindet, wurden auch Experimente mit Ultraschall Sensorik und 60GHz Radar gemacht, die ihre Informationen ebenfalls weiter an das ConText Hub schicken. Diese Informationen wurde ursprünglich genutzt, um die untere LED-Beleuchtung, welche sich per WiFi mit dem ConText Hub verbindet zu aktivieren/dimmen je nachdem ob ein Nutzer detektiert wurde. Dieses wurde im Laufe des Projekts allerdings verworfen. Gründe hierfür waren die hohen Kosten und schlechte Lieferbarkeit des Radar Moduls, in den ersten Tests wurde es auch eher als ein störendes Gimmick empfunden.

II.1.3.7 TAP 4.2 Strom- und Datenverbindung für Verbindungmodule für Smart Home Geräte

Für die Verwaltung, Einstellungen und die Verbindung an das Smart Home wurde das ConText Hub entwickelt. Dieses dient als Schnittstelle zwischen der Tapete selbst und der Infrastruktur der Umgebung (siehe Abbildung 29). Das ConText Hub wurde in Java entwickelt und verfügt über eine Vielzahl an Optionen zur Verbindung.

Das Gateway wird direkt per USB als serielles Gerät erkannt, sobald es angesteckt wird und stellt die Verbindung mit dem Patch-Bus her. Anschließend informiert es das ConText Hub über Events auf dem Patch-Bus, wie zum Beispiel das Abnehmen und Hinzufügen von Patches. Sobald ein Patch auf der Tapete erkannt wird, erhält das ConText Hub diese Information und schaut, ob dieses bereits mit einer Interaktion konfiguriert wurde. Wenn bereits eine Interaktion konfiguriert ist, so wird diese Interaktion ebenfalls über das Erkennen des Patches informiert und kann im Falle eines Licht-Patches dann über die LED auf dem Patch symbolisieren, ob das Licht momentan An oder Aus ist. Falls noch keine Interaktion hinterlegt ist,

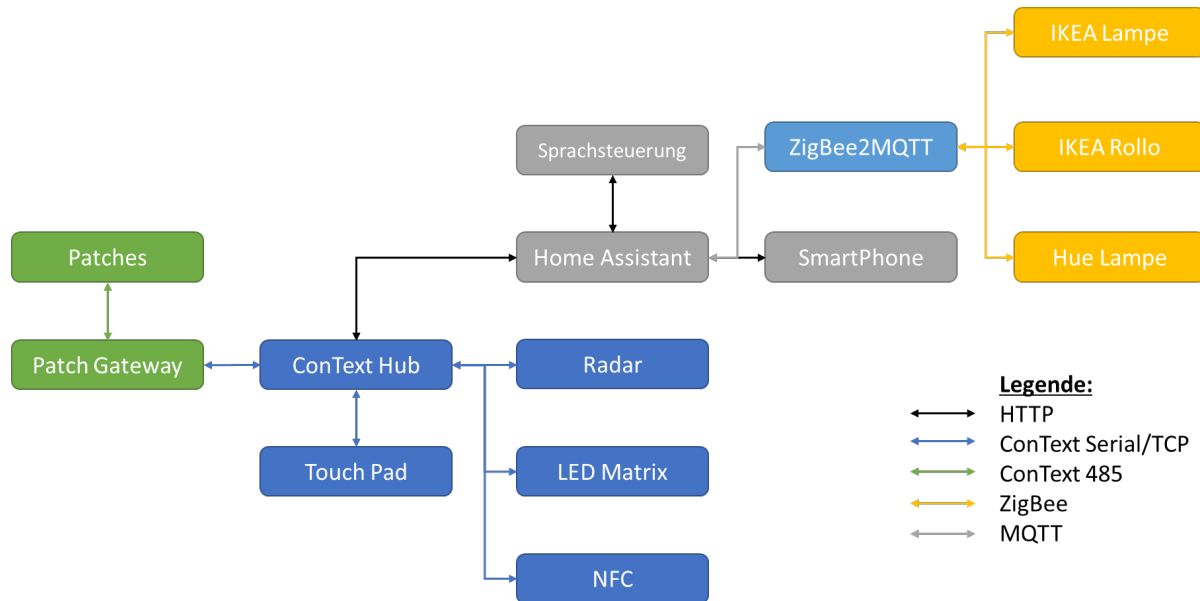


Abbildung 29: Initiales Systemdiagramm

passiert nichts weiter. Beim Abnehmen eines Patches wird ebenfalls geprüft, ob eine Interaktion konfiguriert ist, und diese Information gegebenenfalls an die Interaktion weitergeleitet. So kann eine Interaktion zum Beispiel ihre Blinkanimation stoppen, falls sie gerade aktiv sein sollte. Ebenfalls direkt über eine serielle Schnittstelle wird das Touch-Pad mit dem ConText Hub verbunden. Dieses sendet bei erkannter Bewegung durch einen Finger auf dem Touch-pad eine Nachricht mit der aktuellen Position des Fingers, und bei Abschluss der Interaktion eine einfache interpretierte Geste wie „up“, „down“, „left“, „right“ oder „tap“.

Die LED-Matrix, weitere LED-Streifen sowie die andere verbaute Sensorik wie Temperatursensoren oder das NFC-Lesegerät verbinden sich über einen lokalen TCP-Server mit dem ConText Hub und kommunizieren mit demselben Protokoll wie auch das Gateway und Touch-pad.

Zur Verwaltung und Steuerung durch einen Nutzer wurde für das ConText Hub auch ein HTTP-Server mit einem einfachen AngularJS⁴ basiertem Dashboard entwickelt.

Zusätzlich zur reinen Kopplung zwischen den verschiedenen Medien und Technologien auf der Tapete und im Smart Home wird das ConText Hub auch für die Konfiguration der Patches genutzt, bzw. der Konfiguration der Interaktion.

⁴ <https://angularjs.org/>

II.1.3.8 TAP 4.3 Hardware/Software zur Kommunikation mit Smart Home Zentralen

Wie in TAP 4.2 bereits beschrieben wird das ConText Hub genutzt, um die Kommunikation mit dem Smart Home zu ermöglichen. Die Kommunikation mit dem SmartHome läuft über Home Assistant, hierfür wurde ursprünglich die Home Assistant WebSocket API genutzt.

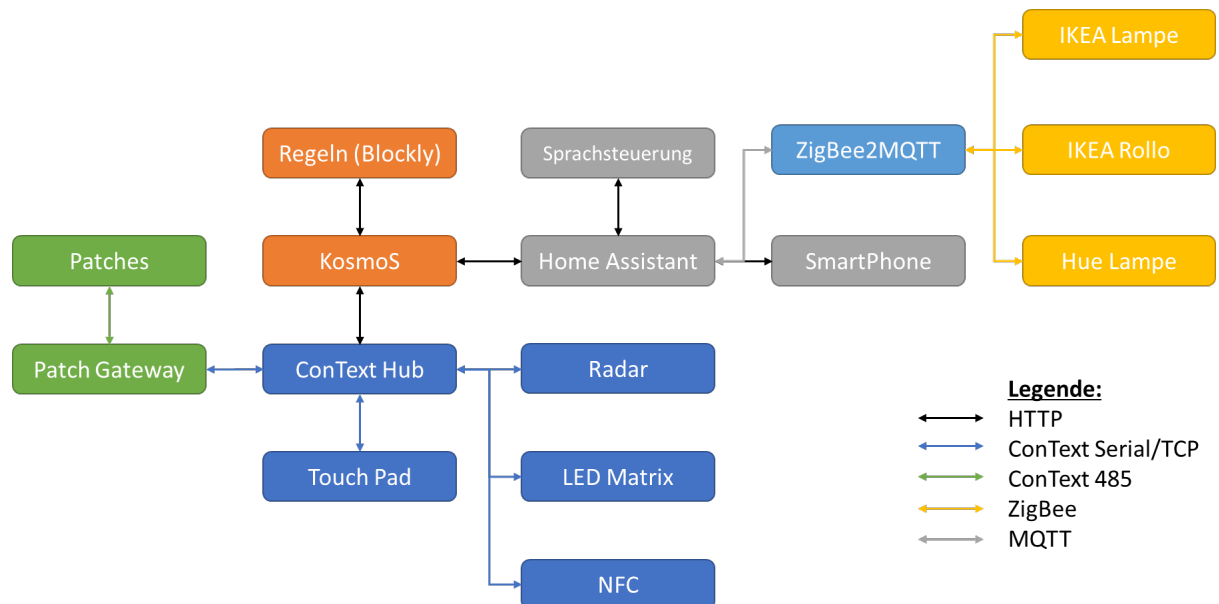


Abbildung 30: Finales Systemdiagramm

Im Laufe des Projektes wurde in Zusammenarbeit mit dem KosmoS Begleitprojekt die Verbindung mit dem Smart-Home angepasst (siehe Abbildung 30), so dass diese nun über die KosmoS-Plattform umgesetzt wurde. Dies ermöglicht die einfachere Verbindung von neuen IoT-Geräten und ermöglicht eine einfache direkte Anbindung an die Geräte in den Laborwohnungen.

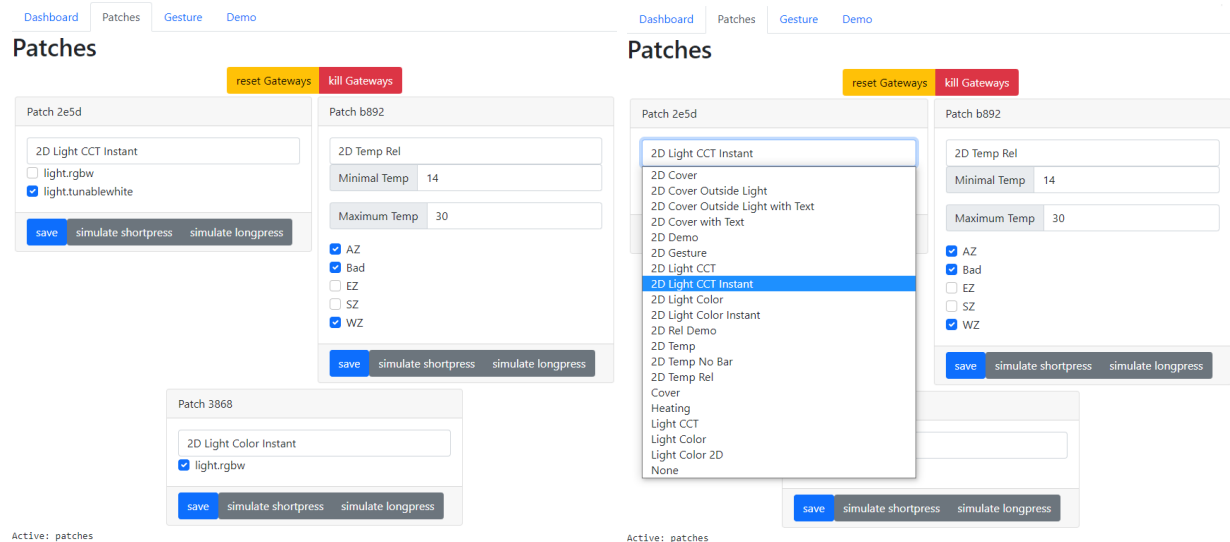


Abbildung 31: ConText Hub - Konfiguration der Patches

des BAALL⁵ und des DAI-Labors,⁶ sowie Zugriff auf weitere Funktionen, die von der KosmoS-Plattform bereitgestellt werden, wie eine grafische Programmierungsumgebung und Unterstützung beim Logging und bei Evaluationen und anderen Versuchen durch die Integration der Zustandsüberwachung direkt in OBS.⁷

Um schnell und relativ unkompliziert neue Interaktionsabläufe zu testen, wurde zunächst eine vom begleitenden Living Lab Projekt KosmoS entwickelte einfache grafische Programmierschnittstelle KREE mittels Blockly verwendet. Diese wurde zur Programmierung von einfachen Automatisierungen im Smart Home entwickelt und ermöglicht es zur Laufzeit die Interaktionen anzupassen.

Die Komplexität der Regeln in Blockly für die ConText Demonstratoren wurden schnell komplex und groß, so dass ein spezielles Dashboard (Abbildung 31) entwickelt wurde zur Programmierung der Interaktionen. Das Dashboard dient zur Anzeige genereller Informationen zum System ermöglicht für jedes Patch die Auswahl eines eigenen Interaktionsschemas. Hierbei gibt es eine größere Auswahl an Interaktionen für jedes Szenario, dadurch sind sowohl die initial getesteten als auch die finalen Interaktionsabläufe jederzeit auswähl- und testbar. Auf den Finalen Demonstratoren sind hier standardmäßig die Szenarien „2D Light CCT Instant“, „2D Light Color Instant“ und „2D Temp Rel“ aktiviert.

⁵ BAALL – Bremen Ambient Assisted Living Lab – Laborwohnung des DFKI CPS in Bremen

⁶ DAI-Labor – Distributed Artificial Intelligence Laboratory – Laborwohnung des DAI in Berlin

⁷ OBS – Open Broadcaster Studio – Open-Source Software für Videostreaming und Videorecording

II.1.3.9 TAP 4.4 Erkennung haptischer Muster

Aufbauend auf den Ergebnissen aus TAP 2.1 (Abschnitt II.1.2.1) wurde für die ConText Demonstratoren eine Mustererkennung basierend auf dem Q\$ Algorithmus umgesetzt. Die Erkennung wird hierbei automatisch gestartet so lange keine andere Interaktion mehr aktiv ist und der Nutzer eingaben mit dem Touchpad macht.

Es wurden verschiedene Verfahren für Gesten und Muster Erkennung sowohl mit KI als auch ohne KI-Ansatz analysiert. Im KI-Bereich wurden hier verschiedene Ansätze mittels CNN (convolutional neural networks) und LSTM (long short-term memory) getestet. Des Weiteren wurde mit klassischen Algorithmen für Gesten- und Strichererkennung experimentiert. Hierbei hat sich der Algorithmus Q\$⁸ als sehr vielversprechend herausgestellt und ist auch gut umsetzbar auf leistungsschwacher Hardware – im Gegensatz zu KI-basierten Verfahren.

Ein weiterer Vorteil gegenüber den vorherigen KI-Methoden ist, dass kein aufwändiges Training erforderlich ist und nur ein paar wenige Beispiele gezeichnet werden müssen, um neue Muster im System einzulernen. Mit dem Ziel vor Augen, dass die Gesten in Zukunft auch vom Touchcontroller selbst erkannt werden könnten, wurde der Q\$ Algorithmus als Favorit ausgewählt, um benutzerdefinierte Gesten und Muster zu ermöglichen.

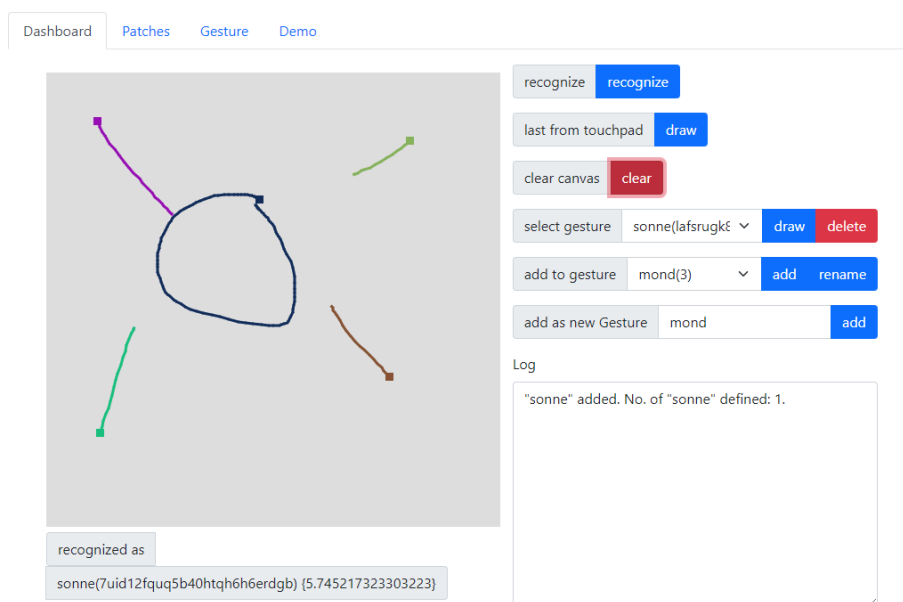


Abbildung 32: Interface zum Trainieren/Testen der Mustererkennung – hier mit einer Maus gezeichnet

Diese Muster können direkt auf dem Demonstrator, einem Touchscreen (siehe Abbildung 32) oder auch mit einer Maus trainiert werden (siehe Abbildung 33). Es ist grundsätzlich ausrei-

⁸ <http://depts.washington.edu/acelab/proj/dollar/qdollar.html>

chend ein Muster einmalig zu zeichnen und zu speichern, da nur ein direkter Vergleich zwischen verschiedenen Mustern erfolgt ohne diese als „gleichwertig“ zu definieren. Jedoch ist es trotzdem hilfreich jedes Muster mindestens dreimal zu zeichnen, um eine höhere Varianz und damit bessere Erkennung zu gewährleisten.

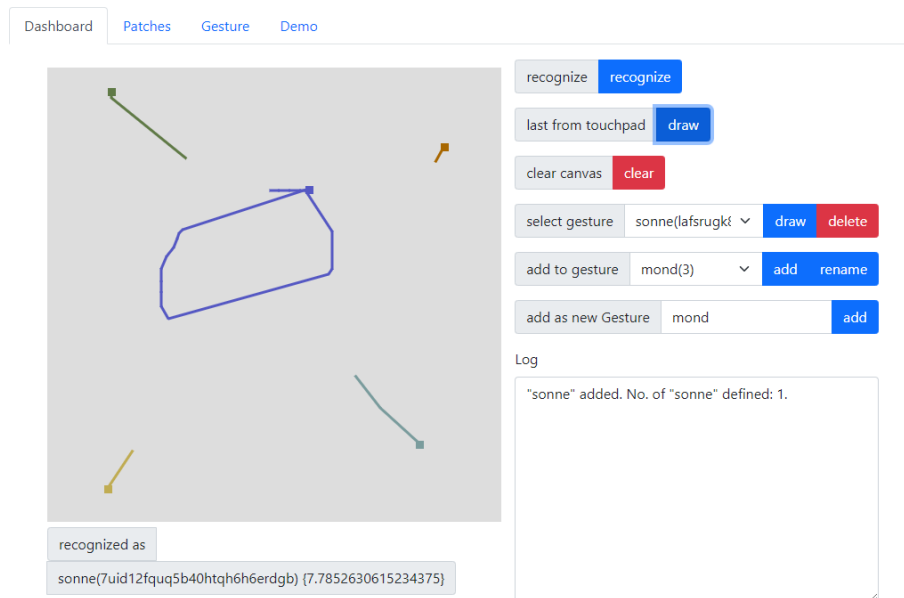


Abbildung 33: Interface zum Trainieren/Testen der Mustererkennung – hier auf dem Demonstrator gezeichnet

II.1.3.10 TAP 4.5 Niedrigschwellige Definition haptischer Interaktionen

Basierend auf der Gestenerkennung (TAP 4.4, Abschnitt II.1.3.9) wurde unter Nutzung der vom begleitenden Living Lab Projekt entwickelten grafischen Regel und Programmierschnittstelle KREE niedrigschwellig eigene Interaktionen zu definieren. So kann zum Beispiel eine Sonne als Geste skizziert werden und dem System mittels grafischer Programmierung eingespeichert welche Interaktion damit zu verbinden ist, sobald diese Geste erkannt wird.

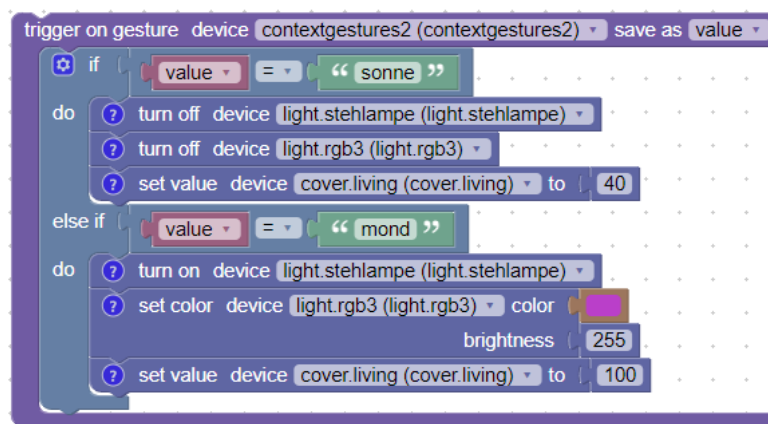


Abbildung 34: Regeln für "Sonne" und „Mond“ in KREE

Eine beispielhafte Umsetzung ist zum Beispiel alle Rollos in eine bestimmte Position fahren und die Lichter ausschalten, sobald eine Sonne oder ein Mond erkannt wurde (siehe Abbildung 34). Die Gestaltung dieser Regeln ist aber ebenfalls direkt und ebenfalls recht komfortabel über das Regelsystem von Home Assistant möglich (siehe Abbildung 35 und Abbildung 36). Damit wurde eine Reihe von haptischen Interaktionen definiert, die auch gut erkannt wurden.

The screenshot shows the Home Assistant automation configuration page for an automation named "Geste Mond". The interface includes a "Name" field with the value "Geste Mond", an "Add description" link, and a "Mode" dropdown set to "Single (default)". There is a toggle switch for "Enable/Disable automation" which is currently turned on, and links for "SHOW TRACE" and "RUN ACTIONS". Below this is a section titled "Triggers" with explanatory text. The trigger configuration shows a "Trigger type" of "State", an "Entity" of "contextgestures2_gesture", and a "To (optional)" value of "mond". There is also a "For (optional)" field set to "0 : 00 : 00".

Abbildung 35: Regel in Home Assistant zur Definition der Geste "Mond"

Actions

The actions are what Home Assistant will do when the automation is triggered.
[Learn more about actions](#)

Action type

Device

Device

living

Action

Set living position

Position

☒

Action type

Call service

Service

Light: Turn on

Turn on one or more lights and adjust properties of the light, even when they are turned on already.

Targets

What should this service use as targeted areas, devices or entities.

RGB

RGB3

+ Choose area

+ Choose device

+ Choose entity

☐ Transition

Duration it takes to get to next state.

seconds

☒ Color

The color for the light (based on RGB - red, green, blue).

☐ Color temperature

Color temperature for the light in mireds.

☒ Brightness

Number indicating percentage of full brightness, where 0 turns the light off, 1 is the minimum brightness and 100 is the maximum brightness supported by the light.

100

%

☐ Brightness step

Change brightness by a percentage.

%

☐ Effect

Light effect.

Action type

Device

Device

stehlampe

Action

Turn on Stehlampe

Brightness

Flash

☐ short

☐ long

ADD ACTION

Abbildung 36: Interaktion zu Geste "Mond" in Home Assistant

II.1.4 AP5 Demonstratoren und Evaluation

II.1.4.1 TAP 5.1 Fertigung in realistischen Produktionsrahmen zur Weiterverwendung in Demonstratoren und Living Labs und Evaluation der Arbeitsmuster

Das DFKI hatte in diesem Teilarbeitspaket des Verbundprojekts keine Arbeitsanteile.

II.1.4.2 TAP 5.2 Konzeption der Evaluationsumgebungen und Probandenauswahl

Für die Evaluation mit Nutzer*innen wurde ein methodisches Vorgehen (Fragebögen, Aufgabengeleiteter Usability-Test mit lautem Denken, Beobachtung, Task Level Success, semi-strukturiertes Interview) entwickelt, um den Demonstrator quantitativ und qualitativ im Hinblick auf Wahrnehmung, Bewertung der Attraktivität sowie der intuitiven Benutzbarkeit und Erlernbarkeit zu evaluieren.

Dafür wurden Nutzungsszenarien definiert, die mit dem Demonstrator umgesetzt wurden, um diese im Rahmen eines aufgabengeleiteten Usability-Tests von den Proband*innen durchführen zu lassen. Für die Evaluation wurden die Demonstratoren in der BAALL Laborwohnung und im Berlin Open Lab aufgebaut (Abbildung 37). Dafür wurde die benötigte Hard- und Software für die Kommunikationsinfrastruktur, Verbindungselektronik, Smart Home Server bzw. IoT-Geräte bereitgestellt. Entsprechend des Evaluations-Konzeptes wurden benötigte Unterlagen wie Aufklärungs- und Einwilligungs-Bögen, Fragebögen, Interviewleitfaden etc. erstellt.

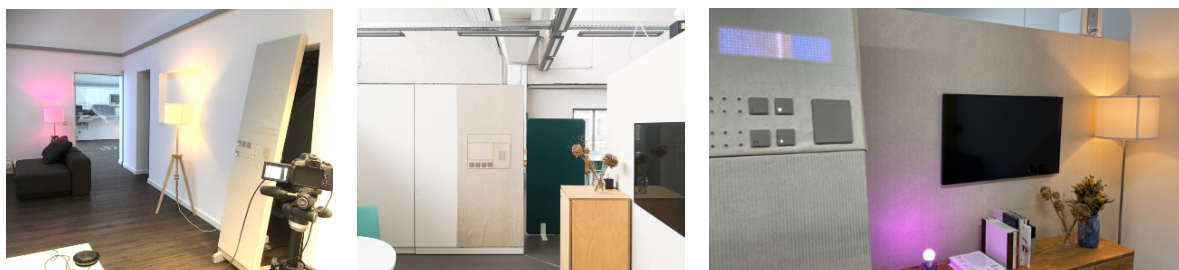


Abbildung 37: S1-Demonstrator im BAALL; S1- und S2-Demonstrator im BOL

Die Rekrutierung der Teilnehmer*innen erfolgte persönlich oder per E-Mail. Neben direkten Einladungen an persönliche Kontakte wurden weitere Teilnehmer*innen über Gruppenanfragen an die „Senior Research Group Berlin“ (2m, 2w) und der „Heimautomatisierungsgruppe Hackerspace Bremen“ (3m) gewonnen.

An der ersten Evaluation (März 2022) mit dem S1-Demonstrator nahmen 19 Proband*innen (11 männlich, 8 weiblich) aus drei verschiedenen Altersgruppen (9 Testpersonen: 20 – 39 Jahre; 3 Testpersonen: 40 – 59 Jahre; 7 Testpersonen ab 60 Jahre) teil.

Nach der Optimierung und Weiterentwicklung des Demonstrators basierend auf den Ergebnissen und Erkenntnissen der ersten Evaluation, wurde der Demonstrator im Rahmen einer abschließenden Evaluation (Dezember 2022) erneut mit 17 Proband*innen (10 männlich, 7 weiblich; 3 Altersgruppen: 9 Testpersonen: 20 – 39 Jahre, 4 Testpersonen: 40 – 59 Jahre; 4 Testpersonen: ab 60-jährige) evaluiert.

Ebenso wie das Interesse an Smart Home Anwendungen ist die Technikaffinität bei der Proband*innen-Gruppe der 2. Evaluation deutlich geringer (siehe Abbildung 38).

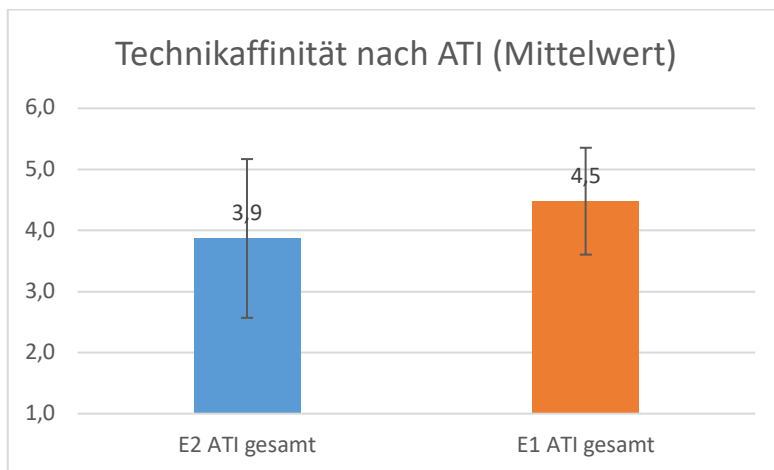


Abbildung 38 Technikaffinität nach ATI

Für den aufgabengeleiteten Usability-Tests wurden 10 grundlegende Szenarien, welche Nutzungsinteraktionen für einfache Automatisierungen für Licht-, Rollo- und Klimaregulierung umfassen, implementiert. Das methodische Vorgehen und die Evaluationsergebnisse werden in AP 5.3 (Abschnitt II.1.4.3) detailliert dargestellt.

Projektbegleitender MEESTAR-Workshop

Im Januar 2021 fand der MEESTAR-Workshop mit allen Partner*innen des Verbundvorhabens als digitales Format statt, welcher durch das DFKI organisiert und durchgeführt wurde. Gemeinsam mit allen Projektpartner*innen wurde der Projektstand und die geplanten Entwicklungen hinsichtlich möglicher ethischer Probleme analysiert, mit dem Ziel frühzeitig Lösungsansätze zu identifizieren.

Der Workshop, der wegen der Covid-19 Pandemie online stattfand, bestand im ersten Teil aus einer Einführung in die Ethik und das Modell MEESTAR, sowie einer gemeinsamen Besprechung der zu betrachtenden Nutzungsszenarien. Im zweiten Teil wurde in Kleingruppen aus jeweils individueller, organisationaler und gesellschaftlicher Perspektive ethische Probleme, die sich aus der Nutzung von ConText ergeben könnten, gesammelt und diese den sieben im Modell als moralisch relevant definierten Dimensionen zugeordnet. Anschließend wurde diese den vier Stufen der ethischen Sensibilität zugewiesen, um eine Einschätzung

darüber zu gewinnen, ob und in welchem Maße die kritischen Punkte ethische Probleme aufweisen.

Die von den Workshopleitenden aufbereiteten Ergebnisse wurden im dritten Teil des Workshops und im Rahmen weiterer Treffen in Kategorien geclustert. Es wurden gemeinsam und iterativ Lösungsansätze für die ethisch kritischen Aspekte entwickelt, überprüft und priorisiert. Die Ergebnisse der Diskussion wurden umfassend dokumentiert und dem Konsortium zur Verfügung gestellt.

Die ethisch relevanten Aspekte wurden sieben Kategorien zugewiesen, wobei die relevantesten Aspekte der Kategorie „Datenhoheit“, bestehend aus den Unterkategorien „Transparenz und Entscheidungsmöglichkeiten“, „Datenschutz & Sicherheit aus technischer Sicht“, „Rechtliche Aspekte des Datenschutzes“, zugewiesen werden konnten (Abbildung 39). In der Kategorie „Transparenz und Entscheidungsmöglichkeiten“ (Datenhoheit) geht es hauptsächlich um Privatheit und Selbstbestimmung aus Nutzersicht, das ist die transparenten Möglichkeiten zu entscheiden, welche Daten überhaupt mit wem und wann geteilt werden sollen, was als ethisch kritisch eingestuft wurde. Auf organisationaler Ebene können Entscheidungsmöglichkeiten durch Abhängigkeiten stark eingeschränkt werden, die bis zum Ausschluss durch mangelnde Bereitschaft zum Datenaustausch und Systemkompatibilität führen können.

„Datenschutz & Sicherheit aus technischer Sicht“ (Datenhoheit) umfasst überwiegend Aspekte der Sicherheit und Privatheit. Dabei muss vor allem die Möglichkeit der missbräuchlichen Eingriffe von außen berücksichtigt werden. Die Eingriffe von außen können extern stattfinden (z.B. der Nachbar schaltet das Licht, Backofen etc. ein/aus), innerhalb einer größeren Wohneinheit wie z.B. im Pflegeheim oder auch intern in einer Wohnung (z.B. Familienangehörige bringen (heimlich) Mikrophon-Patches an). Diese Aspekte werden als teilweise ethisch kritisch eingestuft, daher muss hier z.B. gewährleistet werden, dass Daten verschlüsselt übertragen und vor Zugriff Unberechtigter geschützt werden.

Die „Rechtlichen Aspekte des Datenschutzes“ (Datenhoheit) umfasst die zentrale Frage auf der organisationalen Ebene: Wem gehören die Daten? Wer hat die Datenhoheit, die Verantwortung und den Zugriff darauf?

Die Kategorie Zugänglichkeit umfasst ausschließlich Aspekte der gesellschaftlichen Ebene. Die Dimensionen Gerechtigkeit, Selbstbestimmung und Teilhabe sind tangiert, wenn das System bestimmte Personengruppen ausschließt durch mangelnde Barrierefreiheit, zu hohe Kosten oder mangelnde Nutzerfreundlichkeit. Als ethisch kritisch wurde herausgearbeitet, dass das System bestimmte Personengruppen aufgrund von mangelnder Barrierefreiheit ausschließen könnte. Als Lösung ist hier darauf zu achten, ein breites Spektrum an Techniktiefe anzubieten sowie ein einfaches Einrichten des Systems zu ermöglichen. Darüber hinaus

Ergebnis des Votings



Abbildung 39: Clustern der ethisch relevanten Aspekte in sieben Kategorien

könnten Schnittstellen integriert werden, die eine Funktionserweiterung für Personengruppen mit Einschränkungen ermöglicht.

Abhängigkeiten gehören zur Dimension Teilhabe und Selbstbestimmung und werden am ethisch kritischsten auf der organisationalen Ebene gesehen: Abhängigkeiten entstehen zwischen den Organisationen (Anbietern) oder gehen von diesen z.B. durch Monopolstellung aus. Auf individueller Ebene besteht die Gefahr von Abhängigkeiten zwischen Nutzenden, wenn die Systeme (durch mangelnde Transparenz/Barrierefreiheit etc.) nicht eigenständig genutzt und verwaltet werden können.

Bevormundung kann durch Nutzende untereinander auf individueller Ebene entstehen (z.B. Erinnerungs-Patches); ethisch kritischer wird jedoch die Bevormundung durch Organisationen bewertet, die durch das System einen gewissen Lebensstil erzwingen können.

Nachhaltigkeit und Umwelt tangiert vor allem die Gerechtigkeit und wird teilweise ethisch kritisch eingestuft. Es geht um (globale) Gerechtigkeit (z.B. Klimagerechtigkeit) bei der Produktion, sowie der Umweltverträglichkeit der Nutzung des Systems, was die Möglichkeit zum Recycling einschließt. Es muss diskutiert werden, welche Ressourcen zur Herstellung verwendet und wo bzw. wie diese beschafft bzw. produziert werden.

II.1.4.3 TAP 5.3 Durchführung und Auswertung der Evaluationen

Wie in AP 5.2 bereits beschrieben fanden die S1 und S2-Evaluationen vor Ort in der BAALL Laborwohnung sowie im KosmoS-Living-Lab im Berlin Open Lab statt. Das Erhebungsprozedere und der Testaufbau waren in Bezug auf Methoden, Material, Metriken und Fragebögen, Vorgehen, Dokumentation, Personal und Dauer bei beiden Evaluationen gleich.

Nach einer kurzen Vorstellung und Einführung in das Thema wurden die Dokumente zum Datenschutz unterzeichnet und ein Pre-Fragebogen ausgefüllt. Im Rahmen des Pre-Fragebogens wurde mittels ATI Skala⁹ (Affinity for Technology Interaction) (siehe TAP 5.2, Abschnitt II.1.4.2) die interaktionsbezogene Technikaffinität der teilnehmenden Personen erfasst. Außerdem wurden allgemeine Fragen zum praktischen Interesse an Smart Home/Automatisierung und personenbezogene Daten, wie Geschlecht und Altersgruppe erhoben.

Anschließend wurde das Projekt ConText sowie grundlegende Funktionsweise des Demonstrators auf Basis des zuvor verschickten Manuals vorgestellt als Vorbereitung für die nachfolgende Hands-on Session. Im Rahmen eines aufgabengeleiteten Usability-Tests wurden zehn grundlegende Szenarien von den Testpersonen als Aufgabe bearbeitet.

Teilnehmende wurden angeregt dabei laut zu denken. Die Interaktionen der Teilnehmenden mit dem Demonstrator wurden von der Testleitung beobachtet, protokolliert und die Performance wurde mittels Task Level Success erfasst. Ziel war es, die Usability des Interaktionsdesign zu bewerten, sowie Usability-Probleme zu identifizieren und Optimierungsvorschläge abzuleiten.

Im Anschluss wurde im Rahmen der Nachbefragung ein Post-Fragebogen ausgefüllt. Durch den Post-Fragebogen wurde die subjektive Wahrnehmung der User Experience (UX) mittels standardisierter Fragebögen (Mini-AttrakDiff und QUESI) erhoben. Der AttrakDiff¹⁰ erhebt Bedienung und Aussehen von ConText auf Basis der Dimensionen hedonische Qualität und pragmatische Qualität. Der Fragebogen QUESI¹¹ (Questionnaire for Measuring the Subjective Consequences of Intuitive Use) erfasst die subjektive Komponente der intuitiven Benutzung.

Im Rahmen eines abschließenden kurzen semi-strukturierten Interviews wurden das Nutzungserleben, Nutzungswahrscheinlichkeit, kritische Aspekte und weitere Wünsche und Optimierungsvorschläge erhoben.

Die Evaluation dauerte pro Teilnehmer*in etwa 60 Minuten. Die Sessions wurden durch Video-, Audio- und Fotoaufnahmen zu Auswertungszwecken dokumentiert. Geleitet wurde die Evaluation von zwei Mitarbeiter*innen in jeweils moderierender bzw. in beobachtender Rolle. Die Auswertung, die aufbereiteten Ergebnisse inkl. Handlungsempfehlungen wurden zur formativen Nutzung schriftlich und fotografisch in einem Usability-Bericht dokumentiert und im Projektteam präsentiert. Diese werden im Folgenden kurz dargestellt.

⁹ <https://ati-scale.org/> (Feb. 23)

¹⁰ <https://www.attrakdiff.de/> (Feb 23)

¹¹ <https://germanupa.de/wissen/fragebogenmatrix/quesi> (Feb 23)

Die Auswertung des AttrakDiff der ersten Evaluation zeigt, das ConText überwiegend im begehrten Bereich liegt “ (siehe Abbildung 40, linke Seite). Die erhobenen Angaben deuten darauf hin, dass die Bewertungen zu der Attraktivität altersunabhängig, geschlechtsunabhängig und unabhängig von der Technikaffinität der Nutzer*innengruppe ist. Da es aufgrund unterschiedlicher Bewertungen (Konfidenzrechteck) in der hedonischen Dimension nicht eindeutig im begehrten Bereich liegt, können gerade da noch Verbesserungspotenziale liegen, vor allem in den Dimensionen „Identität“ und „Stimulation“.

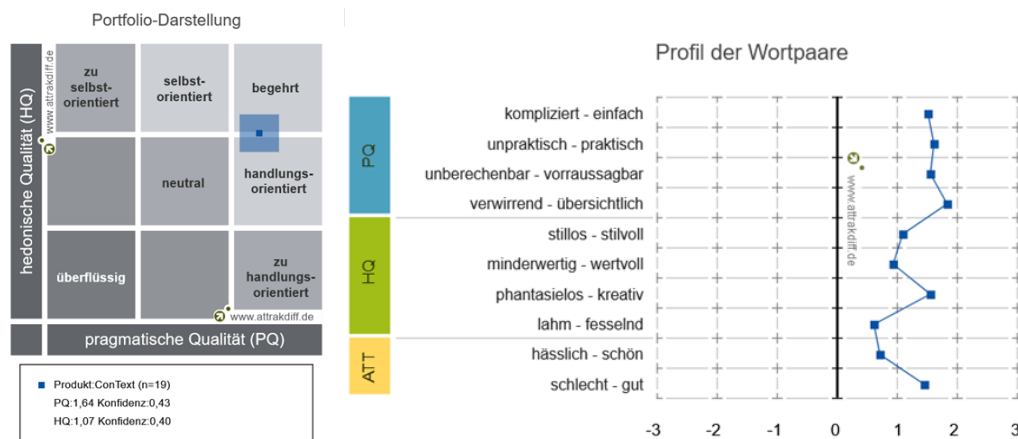


Abbildung 40: Portfolio-Darstellung des AttrakDiff und Profil der Wortpaare des AttrakDiff

Die QUESI Auswertung (siehe Abbildung 41) deutet darauf hin, dass die jüngere Zielgruppe eine geringere kognitive Belastung und einen höheren Grad der Zielerreichung bei der Benutzung wahrnimmt, was darauf schließen lässt, dass es den jüngeren Nutzer*innen leichter fällt, ConText zu bedienen (einfacher, übersichtlicher, praktischer, ...). Daher liegt die Vermutung nahe, welche auch durch die Nutzer*innenaussagen in den Interviews bekräftigt wird, dass jüngere Nutzer*innen die Interaktionen bereits von anderen Touch-Interaktionsgeräten kennen und diese daher als intuitiv einschätzen. Hier ist zu beachten, dass bei der Evaluation die einfachsten grundlegenden Szenarien und Interaktionswege durchgespielt wurden.

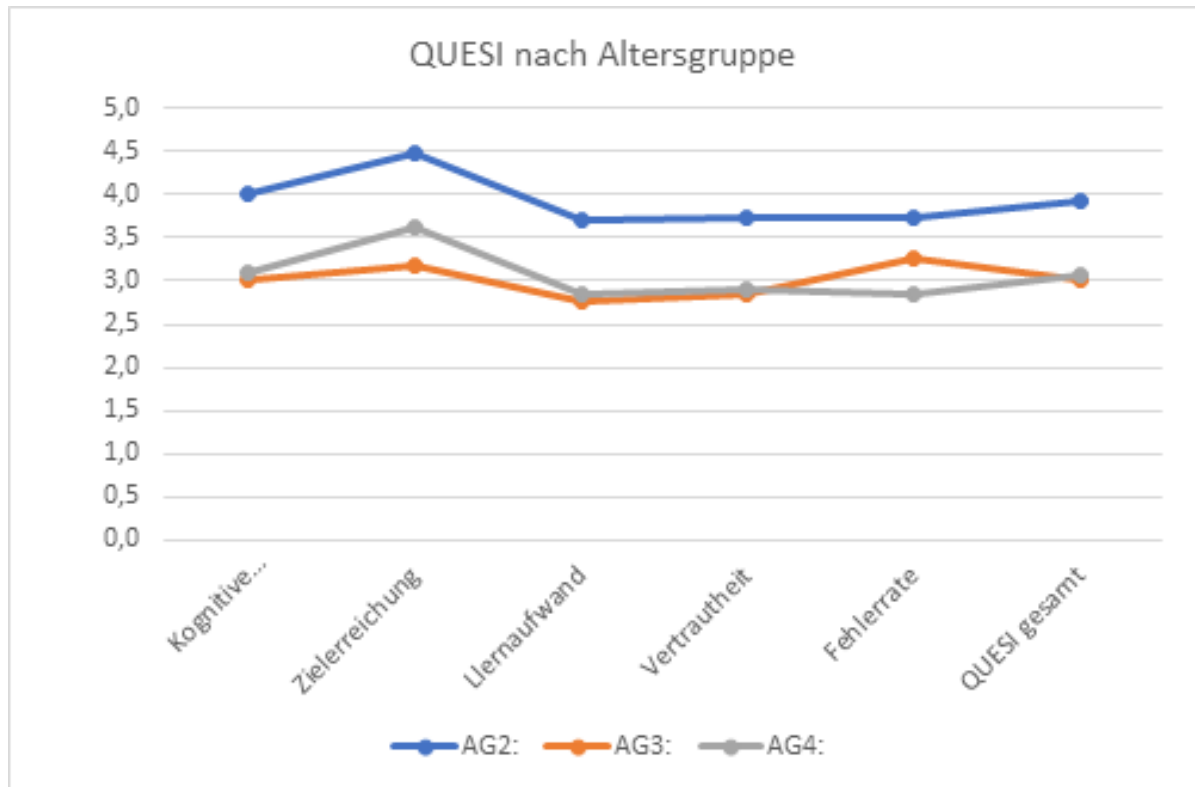


Abbildung 41: QUESI nach Altersgruppe

Basierend auf dem Nutzer*innen-Feedback könnten folgende Weiterentwicklungen die Attraktivität, vor allem in der hedonischen Dimension, und damit den Mehrwert des Systems deutlich steigern: Eine Erweiterung des Systems um interessante und komplexere Anwendungsmöglichkeiten in den Bereichen Sound, Wohn- und Raumklima, Sicherheitsaspekte, eigene Szenarien, Kinder- und Familienfreundliche Funktionen sowie Funktionen, die ein altersgerechtes Wohnen ermöglichen. Darüber hinaus wünschen sich die potenziellen Nutzerinnen und Nutzer zusätzliche Personalisierungsmöglichkeiten hinsichtlich funktionaler und gestalterischer Aspekte und mehr Variation in Gestaltung der Patches sowie umfangreichere Gesten etc.

Auf Potenzial für Verbesserung in der Usability weisen die Beobachtungen und die qualitative Auswertung der Interviews hin:

- Interaktionen zur Steuerung der Funktionen wie z.B. dimmen möchten die Teilnehmenden wiederholt auf den Patches vornehmen.
- Die Teilnehmenden haben wiederholt Schwierigkeiten mit dem Einstellungsmodus (Short-/ Longpress), selbst wenn das Konzept verstanden wurde.
- Die Teilnehmenden stellen sich die Interaktion auf dem Touchfeld eher als Skala vor und drückten bzw. wischten dementsprechend auf dem Touchfeld.

- Das Touchfeld funktionierte z.T. nicht zuverlässig. Obwohl hoch-runter auf dem Touchfeld gestrichen wird, erkennt das System ein 'rechts-links' -Wischen, d.h. die Lichtfarbe wird geändert oder die Räume gewechselt, obwohl dieses nicht gewünscht ist.
- Das visuelle Feedback auf der LED-Matrix ist nicht gut lesbar und schwer verständlich aufgrund der groben Auflösung.

Ein weiter wichtiger Aspekt für die Nutzer*innenakzeptanz ist die Beschaffenheit und die Haptik des Materials. Mehrere Teilnehmer*innen äußerten sich kritisch zum Textil hinsichtlich hygienischer Aspekte. Es muss gewährleistet sein, dass das Material gut zu reinigen und zu pflegen ist und somit möglichst langlebig. Einige Personen mögen nicht, wie sich das Wischen auf textilen Flächen anfühlt. Das könnte ebenso zu Akzeptanzproblemen führen.

Ausgehend von den nach der ersten Evaluation identifizierten Verbesserungspotenzialen wurden folgende empfohlene Gestaltungsmaßnahmen identifiziert und teilweise, wie im Folgenden beschrieben, umgesetzt:

1. Interaktionen zur Steuerung der Funktionen nur auf Patches: Dieses wurde aus technischen Gründen im Rahmen des Projekts nicht konsequent realisiert. Jedoch wurde anstelle des in die Paneele und Tapete integrierten Interaktionsfeldes, ein versetzbares „Touchpatch“ umgesetzt, dass sich von den anderen Patches in Größe und in der Fähigkeit zur Verarbeitung komplexer Gesten unterscheidet (Abbildung 42). Auch wenn die Eingabe zum Aktivieren und das Vornehmen von Feineinstellungen weiterhin auf zwei unterschiedlichen Eingabefeldern realisiert ist, kann im S2-Demonstrator das Interaktionsfeld für die Feineinstellungen genau wie die Patches versetzt werden und die Streichgesten finden nun nicht mehr direkt auf der Tapete statt.

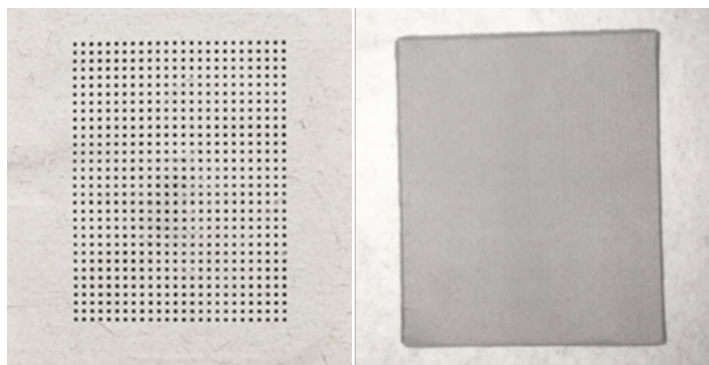


Abbildung 42 Interaktionsfeld S1 und optimierte Variante S2

2. Interaktion auf Touchfeld eher wie bei einer Skala: Um das oft als lästig empfundene wiederholte Wischen zu vermeiden, werden die Wischgesten im S2-Demonstrator eher wie auf einer Skala, relativ oder absolut zur Position, interpretiert. Das Dimmen des Lichtes bzw. die Einstellung der Rollo Position funktioniert absolut zur Touch-Position, sodass entweder durch einmaliges Wischen nach oben/unten oder Tippen auf

eine bestimmte Höhe auf dem Interaktionsfeld ein Dimmwert eingegeben werden kann. Das Einstellen der Licht-Farbe und Wechseln des Raumes durch vertikales Wischen funktionieren relativ zur Touch-Position, da nur so die gesamte Farb-Skala bzw. eine unbestimmte Anzahl von Räumen erreicht werden kann. Das Einstellen der Temperatur durch horizontale Bewegung erfolgt auch relativ zur Position und kann ebenso nur durch Wischen erreicht werden, um nicht beim Durchscrollen der Räume aus Versehen die Soll-Temperatur zu verändern. Dies ist jedoch nicht konsistent zu den Dimm- und Rollo-Einstellmöglichkeiten und sollte in der S2 Evaluation überprüft werden. Um die Orientierung (auf der fiktiven Skala) zu erleichtern, wurde das Interaktionskonzept durch ein unmittelbares visuelles Feedback, dass die Fein-Einstellungen synchron auf der LED-Matrix anzeigt, erweitert (siehe Abbildung 43).

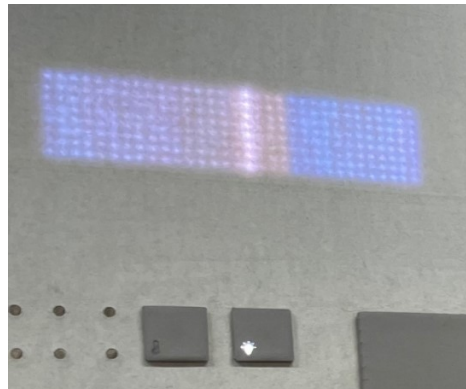


Abbildung 43 Interaktionsfeedback auf LED-Matrix-Display bei S2

3. Einstellungsmodus (Short-/Longpress) klarer: Da die Feineinstellungen (weiterhin) für beliebige Geräte auf einem separaten Eingabefeld, dem Interaktionsfeld, vorgenommen werden, muss weiterhin über jedes Patch der Einstellungsmodus aktiviert werden. Dieser kann zumindest beim Licht nicht durch eine einfache Touchgeste (Shortpress) aktiviert werden, da hierdurch das Licht ein- bzw. ausgeschaltet wird. Daher wird bei eingeschaltetem Licht der Einstellungsmodus weiterhin durch Longpress aktiviert. Der Einstellungsmodus wird jedoch zusätzlich zum pulsierenden Lämpchen am Patch durch eine gut sichtbare visuelle Darstellung der Einstellungen am Matrix-Display unterstützt (siehe Abbildung 44). Die Typografie der LED-Matrix, inkl. Abkürzungen (wie SZ) war schwer zu lesen und wurde daher teilweise missinterpretiert. Daher wurde die Typographie ersetzt, die Auflösung konnte nicht optimiert werden.

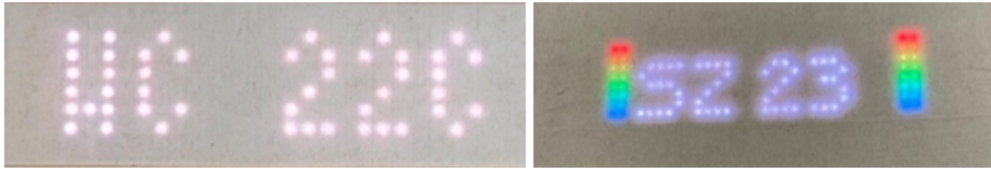


Abbildung 44 Abbildung LED-Matrix S1 und optimierte Variante S2

4. Um dem schwer wahrzunehmenden und oft verzögerten Interaktionsfeedback der Smart Home Geräte, wie z.B. Lichtveränderungen im Raum, entgegenzuwirken, zeigt das Matrix-Display nun die am Interaktionsfeld vorgenommenen Feineinstellungen in Echtzeit an.
5. Die Funktionalität des Interaktionsfeldes wurde hinsichtlich einer zuverlässigen Gestenerkennung überarbeitet.
6. Das Erlöschen der Temperaturanzeige hatte teilweise zu Unsicherheiten über den Systemzustand geführt. Daher wird die Anzeige jetzt länger eingeblendet. Eine „Bestätigungsgeste“ zur Übernahme der Werte gibt es weiterhin nicht.
7. Das Interaktionsfeld wurde mit dem selbem weicheren Material wie die Patches bezogen, um zu überprüfen ob dadurch eine positivere Wahrnehmung erreicht werden kann. Außerdem ist das Touchfeld ebenfalls wie die Patches flexibel versetzbar und damit auch austauschbar. Somit bleibt die Wand bzw. Tapete unberührt. Letzteres wird voraussichtlich hygienische Bedenken mindern, was in der S2 Evaluation zu überprüfen ist.

Die Umsetzung der Gestaltungsmaßnahmen in Bezug auf die Anwendungsszenarien an sich mit einer möglichen Steigerung der hedonischen Qualität, waren nicht mehr Teil des Projekts. Das sind z.B. Entwicklung interessanter Anwendungsmöglichkeiten, Personalisierungsmöglichkeiten der Funktion und Gestaltung, Variationen in Gestaltung der Patches, umfangreichere persönliche Gesten etc. Der Nutzungstest S2 hat schließlich dieselben Szenarien evaluiert wie der Nutzungstest S1, um eine Vergleichbarkeit beider Demonstrator-Versionen zu erreichen.

Die Auswertung der zweiten Evaluationen deuten auf folgendes hin: Die Bewertungen zu den subjektiv wahrgenommenen Folgen der intuitiven Nutzung (via QUESI) sowie die Attraktivität in der hedonischen und pragmatischen Dimension (via Mini-AttrakDiff) konnten in S2 nicht verbessert werden, sondern liegen (mehr oder weniger) auf dem Niveau der ersten S1 Evaluation.

Der S2 Demonstrator liegt weiterhin zwischen dem begehrten und handlungsorientierten Bereich (blaues Rechteck, siehe Abbildung 45). Im Vergleich zum ersten Test (oranges Rechteck, Abbildung 45) sind die pragmatischen Werte ein klein wenig niedriger.

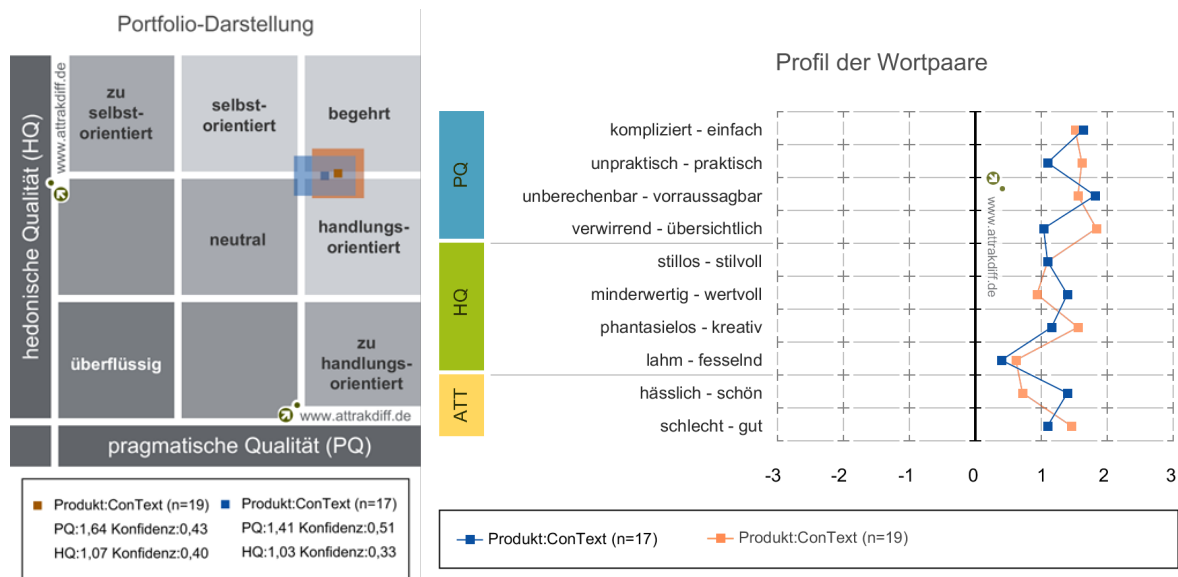


Abbildung 45: Portfolio-Darstellung AttrakDiff, Vergleich Evaluation 1 und 2 und Profil der Wortpaare des AttrakDiff, Vergleich der Evaluation 1 (orange) und 2 (blau)

Auf der Seite der wahrgenommenen hedonischen Qualität bei der Benutzung (Identität, Stimulation) gibt es noch Verbesserungspotenzial: Das Item „lahm – fesselnd“ wird (weiterhin) niedriger bewertet, wobei die Wahrnehmung bei den Proband*innen in diesem Aspekt stark schwankt. Auch wenn diese Bewertungen noch im positiven Bereich liegen, deutet dieses wie bei S1 auf Verbesserungspotenzial hin.

Die Auswertung des Task Level Success bei beiden Evaluationen zeigte, dass die Aufgaben L1, K1, R1, welche einfache und grundlegende Szenarien (Licht anschalten, Soll-Temperatur einstellen, -Rollo hochfahren) umfassen, von den Teilnehmer*innen selbstständig, fast immer ohne Probleme, gelöst wurden (Abbildung 46). Es kann daraus geschlossen werden, dass die grundlegende Bedienung intuitiv und auch für neue Nutzer*innen leicht zu verstehen ist. Die Interaktionen Shortpress (toggle an/aus) sowie wipe hoch/runter (höher/niedriger) scheinen aus bekannten Interaktionen wie Lichtschalter bekannt.

Die komplexeren Aufgaben zum Thema Beleuchtung L2 – L5 umfassen verschiedene Einstellungen der Lampen, die im Einstellungsmodus auf dem Touchpad vorgenommen werden müssen. In L2 und L4 musste explizit durch Longpress (möglichst) in den Einstellungsmodus gewechselt werden. Diese Interaktionen erschließen sich bei beiden Evaluationen dem Nutzenden schrittweise und weisen daher bei beiden Evaluationen einen positiven Lernverlauf auf. Es kann daraus geschlossen werden, dass die Interaktion der Anwendung erlernbar ist durch eine konsistente und nachzuvollziehende Gestaltung der Interaktionen, was für einen ausreichenden Grad einer intuitiven Bedienbarkeit spricht.

Die Kontroll-Aufgabe wurde am Ende der Session nach der Nachbefragung durchgeführt und ist von den Interaktionen identisch mit Aufgabe L5: Licht einschalten, dimmen und Farbe än-

dern. Die Kontrollaufgabe wurden bei beiden Evaluationen von wesentlich mehr Proband*innen ohne oder nur mit geringen Problemen durchgeführt als die Aufgabe L5. Auch das spricht dafür, dass die Bedienung von ConText schlüssig und erlernbar ist (Abbildung 46).

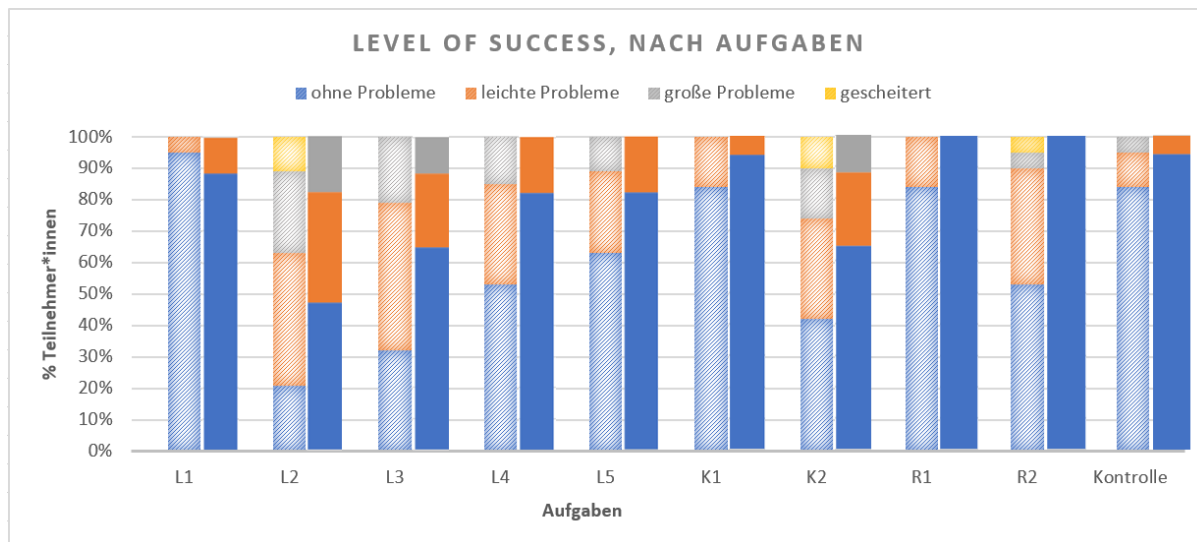


Abbildung 46: Task Level Success, Vergleich Evaluation 1 (helle Balken) und 2 (dunkel gefüllte Balken)

Wie in Abbildung 46 abgebildet, wurden die Aufgaben in der zweiten Evaluation (gefüllte Balken) mit Ausnahme der ersten Aufgabe mit wesentlich weniger Problemen (also erfolgreicher) gelöst. Alle Proband*innen konnten die Aufgaben lösen, leichte bzw. große Probleme haben abgenommen zugunsten von Aufgaben, die ohne Probleme gelöst werden konnten. So schließen wir darauf, dass die Usability in S2 deutlich verbessert werden konnte, auch wenn dieses in der subjektiven Einschätzung der Fragebögen QUESI und Mini-AttrakDiff nicht so widergespiegelt wurde.

Die Anwendungsbeobachtung bestätigt ebenso, dass das visuelle Feedback auf der LED-Matrix sowie das Reduzieren von vielen kleinen Wischgesten hin zu einer „skalen-basierten“ Interaktion auf dem Touchfeld zu deutlich mehr Sicherheit bei der Aufgabendurchführung geführt hat. Gerade das positionsabhängige Wischen und Tippen beim Dimmen und Höheneinstellung der Rollos führte zu einer effizienteren und intuitiveren Bedienung.

Nichtdestotrotz, die Interaktion sowie die Darstellung der Licht-Farben auf der Matrix waren für viele Proband*innen teilweise verwirrend aus verschiedenen Gründen:

- Alle Proband*innen haben erwartet, dass die Lampen zeitgleich zum Einstellen die Farben übernehmen. Jedoch tun sie das aus technischen Gründen erst nach Beendigung der Interaktion bzw. nach loslassen des Interaktionsfeldes. Dieses führte zu Unsicherheiten bzgl. der eingestellten Farbe.

- Das Einstellen der exakten Farbe war schwierig, da die Auflösung des Touchfeldes zu fein ist und es musste oft lange Zeit nachgebessert werden, um genau die gewünschte Farbe „zu treffen“.
- Es ist gegen die Erwartung und damit für viele Proband*innen nicht intuitiv bedienbar, dass sich das angezeigte Farbspektrum bewegt und nicht der weiße Auswahlpunkt („Cursor“).
- Der weiße Auswahlpunkt wird nicht erkannt und es bleibt auf der LED-Matrix-Darstellung unklar, welche Farbe ausgewählt ist.
- Das relative Wischen durch das Farbspektrum in Kombination mit dem absoluten Dimmen auf einer 2-dimensionalen Matrix, führt dazu, dass die Werte für die Helligkeiten immer wieder aus Versehen umgestellt werden, obwohl nur die Farbe geändert werden sollte. Dies ist teilweise ärgerlich.

Weitere Unsicherheiten in Bezug auf die Benutzung konnten in der zweiten Evaluation nicht vollends behoben werden:

- Short-/Longpress ist für mehr als die Hälfte der Proband*innen weiterhin schwierig umzusetzen, selbst wenn das Konzept verstanden wurde. Dieses wird oft durch „Doppel-Tippen“ umgangen.
- „Feineinstellungen“ wie dimmen möchten viele Proband*innen gerne auf dem kleinen Patch vornehmen.

Das Material des neuen Interaktionsfeldes wurde als deutlich angenehmer beim Wischen empfunden im Vergleich zum Interaktionsfeld mit der perforierten Tapete aus der ersten Evaluation. Auch wenn weiterhin Skepsis in Bezug auf Hygiene und vor allem Haltbarkeit des Materials besteht, wurden diese nicht so sehr herausgestellt und erst auf Nachfrage geäußert.

II.1.4.4 TAP 5.4 Gestaltung der finalen Demonstratoren und Umgebungen

Zunächst wurde eine kleine mobile Demonstrator-Version aufgebaut, um während der Pandemie flexibel am Interaktionsdesign arbeiten zu können. Der kleine Demonstrator wurde später in die KosmoS-Living-Lab-Umgebung im Berlin Open Lab integriert, um diese für die erste Evaluation nutzen zu können (Abbildung 47).



Abbildung 47: Mobiler kleine Demonstrator-Version (InTex)

Darüber hinaus wurde ein modulares Konzept für den Demonstrator mit allen Projektpartnern ausgearbeitet, um das parallele arbeiten und entwickeln der einzelnen System-Komponenten zu ermöglichen (siehe detaillierte Beschreibung unter Abschnitt II.1.2.1).

Basierend auf dem Modularen Demonstrator Konzept wurden für jeden Partner Demonstratoren bereitgestellt. Diese bestehen aus dem kleinen Demonstrator mit einem textilen Touch-Pad, zwei magnetbasierten Kontaktreihen für Patches, einer 8*32 Pixel LED-Matrix für die Darstellung von Ikonografie und Text, einem kleinen WiFi-Router sowie zwei per WiFi ansteuerbaren Lampen, eine für die Darstellung von Farben und eine für einen Wechsel der Weiss-töne. Zur zentralen Steuerung verfügt jeder Demonstrator außerdem über einen RaspberryPi 4 auf welchem die für die Funktion benötigte Software läuft.



Abbildung 48: Großer modularer Demonstrator im BOL

II.1.5 AP6 Nachhaltigkeit der Projektergebnisse & Co-Design

II.1.5.1 TAP 6.1 Stakeholder Co-Design Workshops zur Konkretisierung des Anwendungsszenarios, der konfigurierbaren elektronischen Verbindungsmodule, der textilen Interaktionselemente und der Funktionsmodelle

Am 18.02.2020 fand im Berlin Open Lab ein Co-Design-Workshop mit allen Projektpartner*innen statt zur gemeinsamen Exploration verschiedener möglicher Anwendungsszenarien sowie Planung des S1-Demonstrators hinsichtlich Positionierung, Gestaltung und Materialwahl. Ziel des Workshops war die Entwicklung einer gemeinsamen Demonstrator-Vision. Der Workshop wurde unter Anwendung geeigneter Designmethoden konzipiert, organisiert und geleitet durch den Forschungsbereich InTex des DFKI. Durch gemeinsames Erstellen einfacher

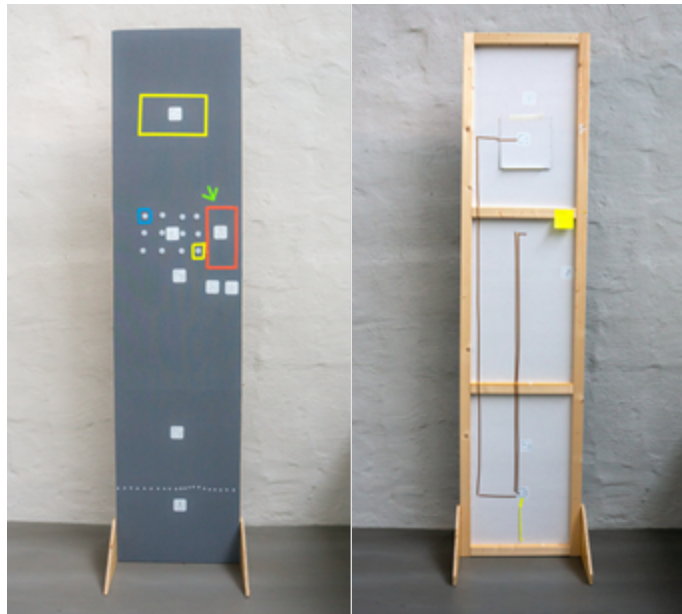


Abbildung 49 Mockup des S1-Demonstrators als Diskussionsgrundlage für Gestaltungsentscheidungen

Mockups wurde u.a. der Technikumfang sowie die Positionierung und Dimensionierung einzelner Komponenten kollaborativ abgestimmt (Abbildung 49). Ergebnis des Workshops war ein konkreter Bauplan der ersten Demonstratorversion, an dem sich das Konsortium in der weiteren Entwicklung orientierte (siehe Abbildung 50).

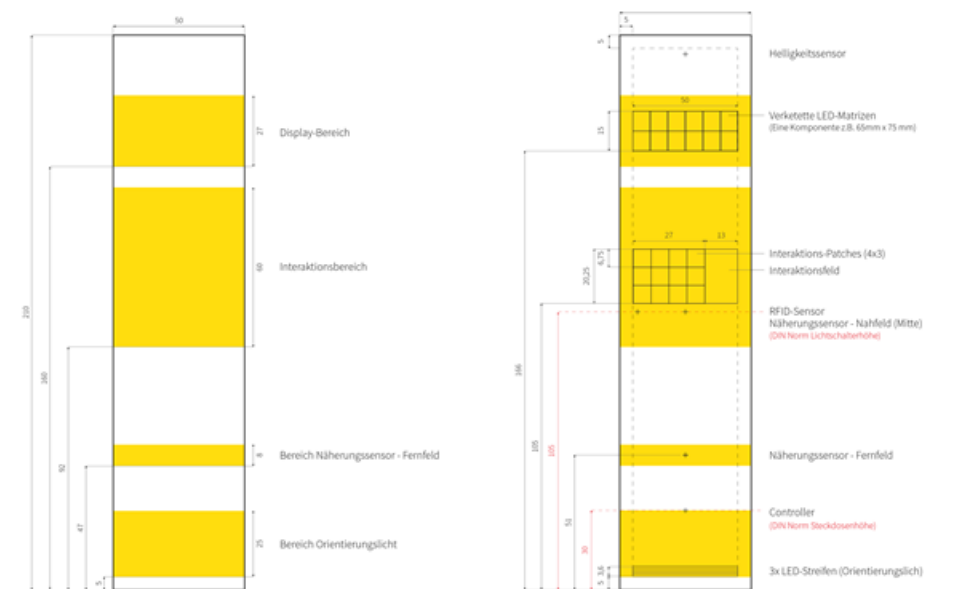


Abbildung 50: Ergebnis des Workshops: Konkrete Planung der ersten Demonstrator-Version

Darüber hinaus wurden zur Konkretisierung des Anwendungsszenarios sowie der konfigurierbaren elektronischen Verbindungsmodule und der textilen Interaktionselemente mehrere partizipative Online-Workshops mit potenziellen Nutzer*innen durchgeführt (in AP1, Abschnitt II.1.1, beschrieben).

Die entwickelten Lösungsansätze für die flexible Kontaktierung von Patch und Tapete (TAP 2.1, Abschnitt II.1.2.1) wurden im Rahmen eines vom DFKI InTex organisierten digitalen Co-Design-Workshops im März 2021 mit Projektpartner*innen von IFAM, DITF, Peppermint, Norafin und DFKI InTex zum Thema „Kontaktierung von Patch und Tapete“ gemeinsamen Umsetzungsmöglichkeiten der textilen Infrastruktur als Gewebe und als Vlies ausgearbeitet.

Ausgehend von funktionellen Mockups der zwei ausgewählten Lösungsansätze (Abbildung 51) wurden Umsetzungsmöglichkeiten der Tapete mit Expert*innen aus der Textilindustrie diskutiert sowie geeignete Verfahren zur Umsetzung der Grundanforderungen der Tapete ausgewählt

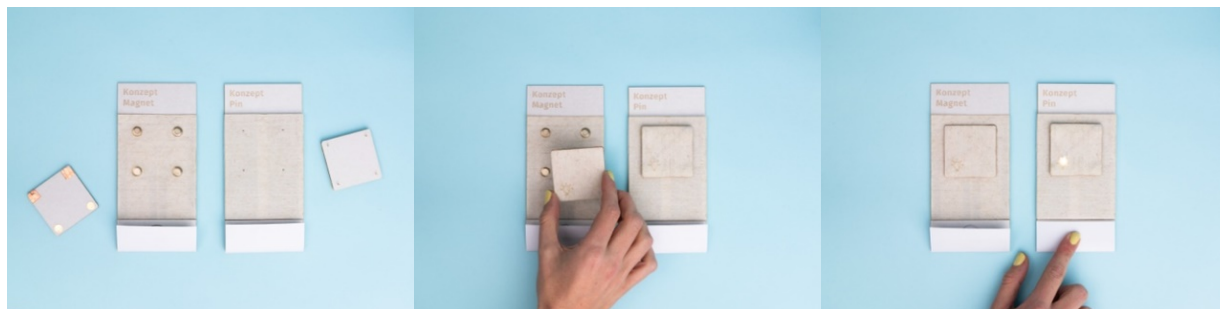


Abbildung 51 Funktionsmodelle als Diskussionsgrundlage für den Co-Design-Workshop mit Textil-Expert*innen

Ein alternatives Kontaktierungs-Konzept mit Nadeln, welches eine freie Kontaktierung des Patches auf der Tapete ermöglicht, wurde in Kooperation mit dem Fraunhofer IFAM entwickelt, prototypisch umgesetzt und funktional erfolgreich getestet (siehe TAP 3.3 in Abschnitt II.1.3.3 und TAP 3.4 in Abschnitt II.1.3.4).

II.1.5.2 TAP 6.2 Potenzial für neue Geschäftsmodelle

Die Anforderungen aus den vorhergehenden Arbeitspaketen wurden sichergestellt. Es wurde die entsprechende Expertise in Bezug auf textilkompatible Module im Kontext des relevanten Marktes eingebracht. Unter Federführung des im Unterauftrag arbeitenden Partner Innovative Living Institute, hat das DFKI seine Expertise in der Gestaltung intelligenter Umgebungen, im Bereich Smart Home und IoT Komponenten eingebracht zur Auslotung des Potenzials für neue Geschäftsmodelle. Ein wesentlicher Gedanken dabei war, dass die Grundinfrastruktur bestehend aus Tapeten und Fußleisten und Software zur Kommunikation getrennt von den Patches betrachtet werden sollte. In Analogie zum Smartphone sollten Tapeten und Fußlebens als „Betriebssystem“ angesehen werden, und Paches einen frei programmierbaren Rahmen ähnlich dem „App“-Konzept.

II.1.5.3 TAP 6.3 Innovationsassessment

Das DFKI hatte in diesem Teilarbeitspaket des Verbundprojekts keine Arbeitsanteile. Dennoch beteiligte sich das DFKI daran, siehe hierzu TAP 7.3 (Abschnitt II.1.6.3).

II.1.5.4 TAP 6.4 Standardisierung und Normierung

Der Forschungsbereich InTex brachte gemeinsam mit dem Forschungsbereich CPS wie in den entsprechenden Arbeitspaketen bereits beschriebenen Expertise hinsichtlich der Konzeption, Durchführung und Analyse von partizipativen Aktivitäten zur Nutzer*inneneinbindung ein, um sicher zu stellen das die erarbeiteten Systemanforderungen umgesetzt werden.

Der Forschungsbereich brachte seine Expertise in Bezug auf Standards im Smart Home Bereich ein (siehe TAP 1.1; TAP 4.3)

II.1.6 AP7 Projektmanagement

II.1.6.1 TAP 7.1 Externe Koordination

Im Rahmen der Außendarstellung des Projekts wurden Pressemitteilungen zu Projektbeginn und Projektabschluss erstellt, die von zahlreichen Tageszeitungen aufgegriffen wurden. Weiterhin wurde ein Projektvideo zum Projektstart koordiniert und zusammen mit dem Projektpartner IFAM angefertigt. Zudem wurde die Gestaltung eines Ergebnisvideos für das Projekt koordiniert und realisiert. Schließlich wurde noch ein Radio Interview in der Deutschlandfunk-Sendung „Computer und Kommunikation“ am 25.03.2023 als Reaktion auf die Projektabschluss-Pressemitteilung gegeben.

Liste der Links zu den Projektpräsentationen in Presse und Medien.

- Pressemitteilung Projektstart: <https://www.dfki.de/web/news/projekt-context-gestartet-intelligente-textile-oberflaechen-fuer-das-smart-home>
- Pressemitteilung zum Projektabschluss: <https://www.dfki.de/web/news/context-tapetenwechsel-im-smart-home>
- Projektvideo zur Präsentation in der Projektgalerie 2019 (<https://www.interaktive-technologien.de/service/publikationen/projektgalerie-2019>) des BMBF: <https://www.youtube.com/watch?v=hjTah9gpfYw>
- Ergebnisvideo: <https://www.youtube.com/watch?v=g0z1nL9wfKw>
- Deutschlandfunk-Sendung „Computer und Kommunikation“ am 25.03.2023: <https://www.deutschlandfunk.de/neue-wandtextilen-versorgen-smart-home-geraete-mit-energie-int-serge-autexier-dlf-834c5cb6-100.html>

Das Projekt ConText wurde weiterhin auf folgenden Fachveranstaltung präsentiert:

- Anwenderforum Smart Textiles in Greiz, 13-14.5.2022, Vortrag und Demonstrator Präsentation

- Lange Nacht der Wissenschaften am 02. Juli 2022 (Ausstellung im stationären KosmoS Living Lab des DAI-Labor, daher enge Zusammenarbeit mit dem Living Lab Projekt KosmoS)
- Vortrag auf dem „Workshop To Connect: Smart Textiles & Mikrosystemtechnik“ der MicroTec Südwest am 20.09.2022 in Denkendorf
- Rundgang der Universität der Künste am 23. Juli 2022 (Ausstellung im mobilen KosmoS Living Lab im BOL)
- BOL-Symposium im Berlin Open Lab am 26. Januar 2023 (Ausstellung im mobilen KosmoS Living Lab im BOL)
- Heimtextil-Messe auf der Messe Frankfurt vom 10.-13. Januar 2023 (Messestand Extra-Organic/Norafin) in Form eines Demonstrators



Abbildung 52: DAI-Labor während der Langen Nacht der Wissenschaften am 2. Juli 2022



Abbildung 53: BOL-Symposium im Berlin Open Lab am 26. Januar 2023

II.1.6.2 TAP 7.2 Interne Koordination

Organisation von Konsortialtreffen, Projekttreffen und Überprüfung der Berichtspflicht; Organisation der inhaltlichen Schwerpunkte und Überprüfung der Einhaltung der Synchronisierungspunkte. Dadurch wurde der Projektfortschritt fortlaufend überwacht. Dazu wurden kontinuierliche Treffen der Partner sowie deren Dokumentation organisiert und durchgeführt. Im Detail wurden in diesem Rahmen regelmäßige TelKos (ca alle 2 Wochen, insgesamt über 65 Regel-TelKos) sowie Projekttreffen in Präsenz bzw. online mit den Projektpartnern durchgeführt. Die speziell beantragten Kosten für eine Lizenz des Anbieters Gotomeeting zur Durchführung der TelKos stellte sich mit Beginn der Maßnahmen zur Eindämmung der Covid-19 Pandemie als äußerst hilfreich heraus, weil dadurch eine relative schnelle Umstellung in Online-Treffen bzw. Arbeitstreffen sofort möglich war.

Weiterhin wurde für die verteilte Software-Entwicklung durch die Projektpartner das GitLab Repository des DFKI verwendet. Als zentraler Ort zur Verwaltung der Projektdokumente wurde der Bosch-Sharepoint verwendet. Im Lauf des Projekts, insbesondere aufgrund des

hohen online Anteils der Arbeiten wegen der Covid-19 Pandemie, wurde zudem Microsoft Teams und Sharepoint des DFKI verwendet, um gemeinsame Dokumente bearbeiten zu können als auch zur Kommunikation zwischen den Mitarbeiter*innen aller Verbundpartner.

II.1.6.3 TAP 7.3 Beirat

Die Bildung eines expliziten Beirats wurde mit den Projektpartnern diskutiert. In Anbetracht der Einschränkungen und daraus resultierender Schwierigkeiten sich mit einem Beirat zu treffen als auch die geplanten Austausche mit Experten aus verschiedenen Stakeholder-Bereichen im Rahmen von TAP 6.3, an denen das DFKI statt des Aufbaus eines Beirats zentral mitwirkte, wurde dies als äquivalent von allen Partnern angesehen. Insofern brachte sich das DFKI direkt in TAP 6.3 mit ein, was vorher nicht vorgesehen war.

II.2 Positionen des zahlenmäßigen Nachweises

Siehe gesondertes Dokument.

II.3 Notwendigkeit und Angemessenheit der geleisteten Arbeit

Die Arbeiten wurden sorgsam geplant und anschließend entsprechend dem Projektplan und der zur Projektlaufzeit festgestellten Anforderungen umgesetzt. Alle geleisteten Arbeiten waren angemessen und notwendig, um die Projektziele zu erreichen.

II.4 Voraussichtlicher Nutzen und Verwertbarkeit der Ergebnisse

II.4.1 Fortschritte bei anderen Stellen

Seit Vorhabenbeginn sind keine Fortschritte bei anderen Stellen bekannt geworden, welche die in dem Projekt bearbeiteten Themenbereiche, geleisteten Arbeiten und erzielten Ergebnisse maßgeblich betreffen.

II.5 Veröffentlichung der Ergebnisse

Zur Projektlaufzeit wurde eine zentrale Publikation von allen Projektpartnern gemeinsam auf der Konferenz *IoT '22: Proceedings of the 12th International Conference on the Internet of Things*, in Delft, Niederlande, vom 7-10 November 2022 erfolgreich eingereicht und präsentiert. Zudem wurde der Beitrag mit dem **Best Paper Award** ausgezeichnet.

- Frank Beruscha, Katharina Lorenz, Anke Königshulte, Serge Autexier, Annika Sabrina Schulz, Bodo Pahlke, Valerie Bartsch, and Hendrik Leibrandt. 2023. *Connecting Textiles: Exploring Textile Interior Surfaces for Power Supply, Communication and User Interaction in the IoT*. In Proceedings of the 12th International Conference on the Internet of Things (IoT '22). Association for Computing Machinery, New York, NY, USA, 88–95. <https://doi.org/10.1145/3567445.3567455>

