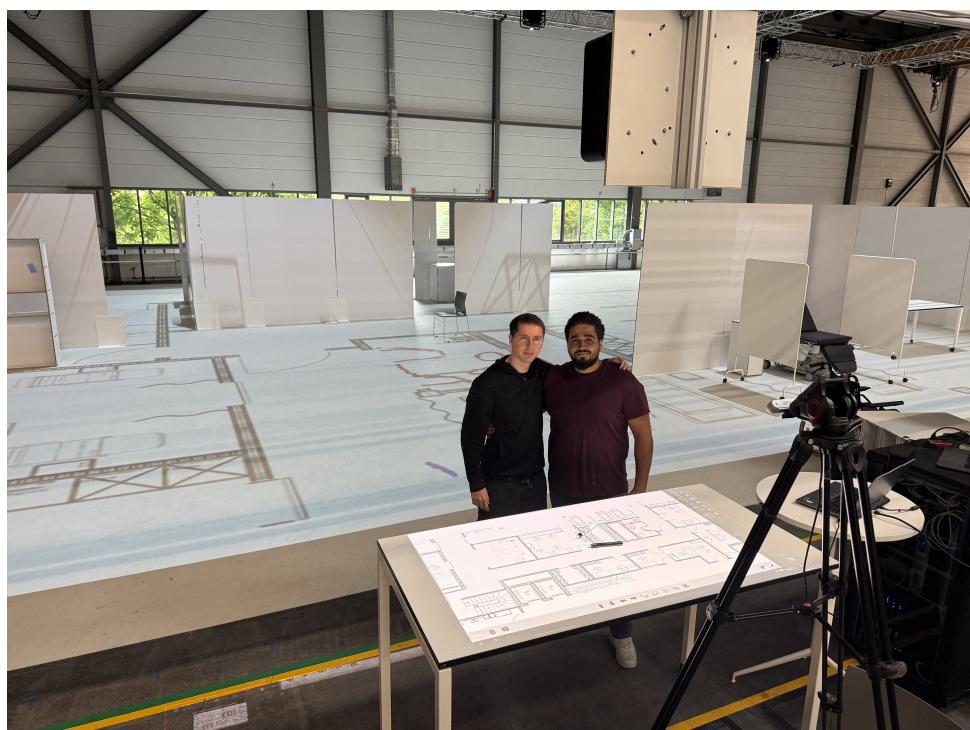


# The Architect's 1:1 Sandbox

Bachelor Thesis

Windisch, August 2025



Studentin/Student

Luc Hartmann  
Jasjot Singh

Expertin/Experte

Reto Senn

Betreuerin/Betreuer

Hilko Cords  
Kevin Kim

Auftraggeberin

SCDH

Projektnummer

25FS\_IIT41

Fachhochschule Nordwestschweiz, Hochschule für Informatik

## **Abstract**

Diese Bachelorarbeit beschreibt die Entwicklung eines digitalen Werkzeugs zur kollaborativen Grundrissgestaltung auf einer 1:1-Projektionsfläche. Ziel war es, eine benutzerfreundliche Anwendung zu realisieren, die insbesondere Laien in partizipativen Architektur-Workshops des Swiss Center for Design and Health (SCDH) unterstützt. Kern der Lösung ist ein interaktives Zeichenwerkzeug mit Infrarotstift-Tracking, dessen Position über eine Kamera erfasst und in Echtzeit auf die Projektionsfläche übertragen wird. Die Anwendung ermöglicht es mehreren Personen, simultan Raumkonzepte zu skizzieren, anzupassen und unmittelbar zu visualisieren.

Die plattformunabhängige Systemarchitektur wurde in praxisnahen Tests und einem Feldtest am SCDH evaluiert. Die Ergebnisse, darunter ein durchschnittlicher System Usability Scale (SUS)-Wert von 78.33 Punkten, bestätigen die intuitive Bedienbarkeit und den hohen Mehrwert für kollaborative Planungsprozesse. Damit leistet die Arbeit einen Beitrag zur Entwicklung niederschwelliger, technisch robuster Interfaces für die gemeinsame Raumplanung.

## Inhaltsverzeichnis

<b>Abbildungsverzeichnis</b>	<b>vi</b>
<b>Tabellenverzeichnis</b>	<b>vii</b>
<b>1 Einleitung</b>	<b>1</b>
<b>2 Hintergrund und verwandte Arbeiten</b>	<b>3</b>
2.1 Projektkontext: Das SCDH und die bestehende Infrastruktur . . . . .	3
2.2 Technologische Grundlagen . . . . .	4
2.2.1 Inside-out and Outside-in tracking . . . . .	4
2.2.2 Infrarot . . . . .	4
2.2.3 Homography . . . . .	4
2.2.4 Momente . . . . .	5
2.3 Vergleich möglicher Eingabemethoden . . . . .	5
2.4 Begründung für die Wahl des IR-Stifts . . . . .	6
2.5 Vergleich bestehender Systeme . . . . .	6
2.6 Einordnung des eigenen Ansatzes . . . . .	8
<b>3 Analyse der Ausgangslage</b>	<b>9</b>
3.1 Beobachtungen im Workshop . . . . .	9
3.2 Abgeleitete Anforderungen aus dem Workshop . . . . .	10
<b>4 Lösung</b>	<b>11</b>
4.1 Vision der Lösung . . . . .	11
4.2 Beobachtete Verbesserungspotenziale im Workshop . . . . .	11
4.3 User Story - vorher und nachher . . . . .	12
4.4 Verknüpfung mit den Forschungsfragen . . . . .	16
<b>5 Implementation</b>	<b>17</b>
5.1 Architektur . . . . .	17
5.2 Setup . . . . .	17
5.3 Hardware-Setup . . . . .	18
5.3.1 Infrarotstift . . . . .	18
5.3.2 Infrarotkamera . . . . .	19
5.4 Software . . . . .	20

5.4.1	Benutzeroberfläche (UI) . . . . .	20
5.4.2	Zeichenfläche . . . . .	20
5.4.3	Infrarot Stift Erkennung . . . . .	22
5.4.4	Kalibration . . . . .	23
<b>6</b>	<b>Auswertung</b>	<b>24</b>
6.1	Zielsetzung der Auswertung . . . . .	24
6.2	Durchführung und Methodik . . . . .	24
6.3	SUS-Auswertung . . . . .	25
6.4	Qualitatives Feedback und Beobachtungen . . . . .	26
6.5	Feldtest mit Kundeninterview . . . . .	27
6.6	Fazit . . . . .	28
<b>7</b>	<b>Diskussion</b>	<b>29</b>
7.1	Erfüllung der Projektziele . . . . .	29
7.2	Einordnung in den Anwendungskontext . . . . .	29
7.3	Reflexion der Forschungsfragen . . . . .	30
7.4	Grenzen der Lösung . . . . .	30
7.5	Offene Fragen und Ausblick . . . . .	31
<b>8</b>	<b>Schlusswort</b>	<b>32</b>
<b>Quellenverzeichnis</b>		<b>33</b>
<b>Hilfsmittelverzeichnis</b>		<b>33</b>
<b>Eigenständigkeitserklärung</b>		<b>34</b>
<b>A</b>	<b>Hardware-Informationen</b>	<b>35</b>
<b>B</b>	<b>Anleitung</b>	<b>35</b>
B.1	Stiftfunktionen . . . . .	36
B.2	PDF-Lade- und Anzeigeoptionen . . . . .	37
<b>C</b>	<b>Löschen, Speichern und Setup-Funktionen</b>	<b>37</b>

<b>D Interviewauswertung mit dem Kunden – Feldtest</b>	<b>40</b>
D.1 Integration in bestehende Workshop-Formate . . . . .	40
D.2 Grösster Nutzen für den Arbeitsalltag . . . . .	40
D.3 Potenzial für andere Zielgruppen . . . . .	40
D.4 Voraussetzungen für produktiven Einsatz . . . . .	40
D.5 Gewünschte Funktionen und Erweiterungen . . . . .	41
D.6 Herausforderungen bei der Einführung . . . . .	41
D.7 Weitere Rückmeldungen . . . . .	41
<b>E Testaufbau und Szenario</b>	<b>42</b>
<b>F Testergebnisse</b>	<b>44</b>
F.1 Person 1 – SUS 67,5 . . . . .	44
F.2 Person 2 – SUS SUS 85,0 . . . . .	46
F.3 Person 3 – SUS 85,0 . . . . .	48
F.4 Person 4 – SUS 70 . . . . .	50
F.5 Person 5 – SUS 87,5 . . . . .	52
F.6 Person 6 – SUS 85 . . . . .	54

## Abbildungsverzeichnis

2.1	Bestehende Anlage mit Mockup . . . . .	3
2.2	BenQ PointWrite . . . . .	6
2.3	Grafische Übersicht der Wiimote . . . . .	7
2.4	Lusee . . . . .	7
3.1	Simulation der Barrierefreiheit im Neubau der Humanitas Stiftung . . . . .	9
4.1	Storyboard ohne digitales Zeichentool . . . . .	13
4.2	Storyboard mit digitalem Zeichentool . . . . .	15
5.1	Systemübericht . . . . .	17
5.2	Kurzanleitung für das Setup . . . . .	17
5.3	Bild eines Infrarotstiftes . . . . .	18
5.4	Beispiel Schema für Infrarotstift . . . . .	18
5.5	Intel RealSense D455 . . . . .	19
5.6	UI Screenshot . . . . .	20
5.7	Zeichnungsstrich . . . . .	20
5.8	Code zur Darstellung eines Striches . . . . .	20
5.9	Ablaufschema für die Verarbeitung der erkannten Punkte . . . . .	21
5.10	Ablaufschema der Stift erkennung . . . . .	22
5.11	Sicht der RGB Kamera . . . . .	22
5.12	Sicht der IR Kamera . . . . .	22
5.13	Sicht der IR Kamera . . . . .	22
5.14	Segmentiertes Bild . . . . .	22
5.15	Verbildlichung der Homography . . . . .	23
5.16	Kalibrationsablauf . . . . .	23
6.1	Testaufbau mit Projektion und IR-Stift (SUS) . . . . .	24
6.2	Gesamtansicht der Testumgebung (SUS) . . . . .	24
6.3	SUS-Bewertung aller Testpersonen im Vergleich zum Benchmark (68 Punkte) . .	25
6.4	Setup beim Feldtest im SCDH . . . . .	27
6.5	Feldtest am SCDH mit dem Kunden . . . . .	28
A.1	Filterkurve der Typ-11-Folie (X-Achse: Wellenlänge, Y-Achse: Dämpfung in %) .	35
B.1	Hauptansicht . . . . .	35
B.2	Stiftfunktionen . . . . .	36
B.3	Zeichenmodus-Einstellungen . . . . .	36
B.4	Radiermodus-Einstellungen . . . . .	36

B.5	Bedienelemente für PDF-Lade- und Anzeigeoptionen . . . . .	37
C.1	Bedienelemente für Speichern, Löschen und Setup . . . . .	37
C.2	Tools-Menü . . . . .	38
C.3	Ablauf der Kalibration . . . . .	38
C.4	Einstellungsfenster . . . . .	39
E.1	Verwendeter Grundrissplan Hospital_Floor_Plan.pdf . . . . .	42
E.2	Leerer SUS-Fragebogen (10 Aussagen, 5-stufige Skala von „Strongly Disagree“ bis „Strongly Agree“) . . . . .	43

## Tabellenverzeichnis

2.1	Vergleich verschiedener Eingabemethoden . . . . .	5
-----	---	---



## 1 Einleitung

Das Projekt *The Architect's 1:1 Sandbox* wird im Auftrag des Swiss Center for Design and Health (SCDH) in Nidau durchgeführt. Das SCDH betreibt an seinem Standort in Nidau bei Biel eine Einrichtung, in der mittels Projektionen und Mockups Gebäudepläne im Massstab 1:1 dargestellt werden können. Diese Technologie ermöglicht die Erprobung von Abläufen und Prozessen sowie die Überprüfung von Designs in einer möglichst realitätsnahen Umgebung. Um dieses Angebot zu erweitern, soll im Rahmen des Projekts eine Softwarelösung entwickelt werden, die den initialen Gebäudedesign-Prozess vereinfacht und verbessert.

Ein zentrales Problem besteht darin, dass viele Personen keine Erfahrung im Gestalten von Gebäuden haben und dadurch während der ersten Bedarfsanalyse Schwierigkeiten bei der Formulierung und Visualisierung ihrer Anforderungen und Wünsche erleben. Das SCDH benötigt daher eine benutzerfreundliche Software, die es ermöglicht, gemeinsam mit den Kunden grobe Gebäudepläne zu erstellen und diesen ein besseres Verständnis sowie eine klare Übersicht über ihre Planung zu vermitteln.

Es existieren bereits einige CAD-Softwarelösungen zum Erstellen von Gebäudeplänen. Diese sind jedoch primär auf technische Detailplanung ausgerichtet und setzen gewisse Vorkenntnisse voraus. Zudem wurden sie selten für kollaborative Nutzung konzipiert, sondern meist für individuelle Arbeitsprozesse.

Das Ziel dieses Projekts ist die Entwicklung einer Softwarelösung, die auch Personen ohne Fachkenntnisse befähigt, funktionale Grundrissanordnungen zu entwerfen und dabei ein verständliches sowie anschauliches Bild der geplanten Räume zu erhalten. Die Zielgruppe ist somit relativ breit gefächert und umfasst alle, die ein Interesse an einer verbesserten Kommunikation und Visualisierung haben. Im Vordergrund steht eine benutzerfreundliche Gestaltung der Anwendung, die eine intuitive Bedienung ermöglicht und den Nutzenden in Kombination mit der 1:1-Projektionsfläche ein realistisches Raumgefühl vermittelt.

Die zu entwickelnde Software soll eine klare und nachvollziehbare Benutzeroberfläche bieten, die keine spezifischen architektonischen Vorkenntnisse voraussetzt. Sie soll es ermöglichen, individuelle Raumkonzepte mit Fokus auf Raumabfolgen und funktionale Zusammenhänge zu skizzieren. Dabei wird auf einfache Navigation, logische Strukturierung der Funktionen und unmittelbare Rückmeldung bei Eingaben besonderer Wert gelegt.

Ein wesentliches Merkmal der Lösung ist die Möglichkeit, Änderungen in Echtzeit vorzunehmen, die unmittelbar auf der 1:1-Projektionsfläche visualisiert werden. Dies soll auch eine kollaborative Arbeitsweise fördern, in der verschiedene Beteiligte wie Architekt:innen und Endnutzer:innen gemeinsam Planungen diskutieren und anpassen können.

Aus dieser Zielsetzung ergibt sich folgende Aufgabenstellung: Es soll eine flexible, intuitive und kollaborative Zeichenumgebung entstehen, die es ermöglicht, Bauelemente und Raumstrukturen in Echtzeit zu erfassen, zu bearbeiten und direkt zu projizieren. Eine mögliche Interaktionsvariante über ein kleineres Tischsystem mit synchronisierter Verbindung zur grossen Projektionsfläche wird ebenfalls in Betracht gezogen.

Im Rahmen des Projekts werden dazu drei zentrale **Forschungsfragen** untersucht, die die inhaltliche und gestalterische Entwicklung sowie die abschliessende Evaluation leiten:

1. Wie können der Arbeitsablauf und das technische System gestaltet werden, damit Benutzer:innen kollaborativ an der einfachen und effizienten Planung von Grundrissen arbeiten können?
2. Wie kann die Benutzeroberfläche so gestaltet werden, dass sie flexibel und funktionsreich ist, gleichzeitig aber auch für unerfahrene Nutzer:innen verständlich und intuitiv bleibt?
3. Wie wird die vorgeschlagene Lösung von potenziellen Benutzer:innen hinsichtlich ihrer Benutzerfreundlichkeit und der Förderung der Zusammenarbeit wahrgenommen?

Insgesamt zielt das Projekt darauf ab, eine benutzerzentrierte Lösung zu entwickeln, die die Komplexität der Gebäudeplanung reduziert, gleichzeitig aber ausreichend Flexibilität bietet, um individuelle Vorstellungen und Anforderungen umzusetzen. Dadurch soll die Software sowohl für private Bauherr:innen als auch für andere interessierte Gruppen ein nützliches Werkzeug zur interaktiven Planung und Visualisierung von Gebäuden darstellen.

## 2 Hintergrund und verwandte Arbeiten

Dieses Kapitel gibt einen Überblick über die bestehenden Systeme zur Interaktion mit digitalen Zeichnungsumgebungen im Kontext der Raumplanung sowie über die technischen Grundlagen der entwickelten Lösung. Ziel ist es, die Relevanz des Projekts im bestehenden Lösungsraum aufzuzeigen und die Besonderheiten des eigenen Ansatzes zu motivieren. Zunächst wird der institutionelle Rahmen (SCDH) beschrieben, bevor im Anschluss technische Grundlagen, verwandte Systeme und der eigene Lösungsansatz vorgestellt werden.

### 2.1 Projektkontext: Das SCDH und die bestehende Infrastruktur

Das Projekt „The Architect’s 1:1 Sandbox“ ist am Swiss Center for Design and Health (SCDH) in Nidau angesiedelt. Das SCDH betreibt eine Forschungsinfrastruktur, die es ermöglicht, Gebäudekonzepte im Massstab 1:1 mittels Projektoren und Mockups zu visualisieren. Diese Umgebung erlaubt es, architektonische Entwürfe gemeinsam mit Fachpersonen und Laien realitätsnah zu evaluieren und zu diskutieren.

Die Projektionsfläche des SCDH wird bislang primär verwendet, um bestehende Grundrisspläne darzustellen und physisch zu begehen. Interaktive Anpassungen oder kollaborative Zeichenvorgänge sind derzeit nur über analoge Mittel wie Papier oder Klebeband möglich. Die Integration einer digitalen Interaktionslösung stellt daher einen logischen nächsten Schritt zur Weiterentwicklung dieser Umgebung dar.



**Abbildung 2.1:** Bestehende Anlage mit Mockup

## 2.2 Technologische Grundlagen

Die Umsetzung basiert auf einem Infrarotstift, der eine punktuelle IR-Lichtquelle erzeugt, welche von einer externen Infrarotkamera (Intel RealSense D455) erfasst wird, in einem Outside-in-Tracking-Verfahren. Durch Segmentierung und Schwellenwertverfahren werden die hellsten Bildbereiche isoliert, um die Position der Stiftspitze zu bestimmen.

Mithilfe einer sogenannten Homographie-Matrix wird der erkannte Punkt aus dem Kamerakoordinatensystem in die Zeichenfläche transformiert. Dies ermöglicht eine präzise Interaktion auf einer beliebigen, zuvor kalibrierten Projektionsfläche. Die Kalibrierung erfolgt durch das gezielte Ansteuern vordefinierter Referenzpunkte, aus denen die Projektionsgeometrie berechnet wird.

Die gesamte Lösung ist so konzipiert, dass sie plattformunabhängig (Windows, macOS, Linux) funktioniert und sich flexibel an unterschiedliche Projektionssituationen anpassen lässt.

### 2.2.1 Inside-out and Outside-in tracking

**Inside-out:** Beim Inside-out Tracking befindet sich die Sensorik, die für die Positionsbestimmung des Stiftes notwendig ist, direkt am Stift (oder dem Gerät, das den Stift trackt). Der Stift "sieht" von innen nach aussen in seine Umgebung und nutzt dort vorhandene Merkmale (z.B. optische Marker, natürliche Landmarken oder Inertialsensoren) zur Bestimmung seiner eigenen Position und Orientierung im Raum.

(Schmalstieg & Höllerer, 2016)

**Outside-in:** Beim Outside-in Tracking ist die Sensorik extern und fest in der Umgebung des Stiftes platziert (z.B. Kameras, Basisstationen). Diese externen Sensoren "beobachten" den Stift (oder Marker/Signale am Stift) von aussen und bestimmen dessen Position und Orientierung im Raum.

(Schmalstieg & Höllerer, 2016)

### 2.2.2 Infrarot

Bei Infrarotstrahlung handelt es sich um einen Bereich des elektromagnetischen Spektrums direkt unterhalb des sichtbaren roten Lichts. Der Infrarotbereich umfasst Wellenlängen von etwa 780 nm bis 1 mm. Dieser Spektralbereich ist für das menschliche Auge unsichtbar. Für das vorliegende Projekt ist der sogenannte nahe Infrarotbereich von 780 nm bis 3000 nm relevant, da der eingesetzte Infrarotstift Licht im Bereich um 950 nm emittiert.

(Hecht, 2023)

### 2.2.3 Homography

Die Homographie beschreibt eine projektive Transformation zwischen zwei Ebenen und stellt ein zentrales Konzept in der Computer Vision sowie in der Photogrammetrie dar. Sie erlaubt es, die Abbildung von Punkten einer Bildebene auf eine andere zu modellieren, wobei Perspektivenverzerrungen berücksichtigt werden. Mathematisch wird eine Homographie durch eine  $3 \times 3$ -Matrix dargestellt, welche im homogenen Koordinatensystem operiert. Damit lassen sich Bildpunkte aus einer Perspektive so transformieren, dass sie der Sichtweise aus einer anderen Kameraposition entsprechen.

(Hartley & Zisserman, 2004)

## 2.2.4 Momente

Momente sind ein statistisches Konzept, das auch auf Bildregionen und Bildobjekte angewendet werden kann. Sie beschreiben charakteristische Eigenschaften eines Objekts, wie etwa Lage, Grösse und Orientierung. In unserer Arbeit nutzen wir Momente, um den Schwerpunkt der erkannten Flächen zu bestimmen. Dieser lässt sich über folgende Formeln berechnen:

$$x = \frac{M_{10}}{M_{00}}, \quad y = \frac{M_{01}}{M_{00}}$$

(Burger & Burge, 2006)

## 2.3 Vergleich möglicher Eingabemethoden

Zur Auswahl der geeigneten Eingabetechnologie wurden drei Ansätze evaluiert: Lusee, Touchscreen und IR-Stift. Die folgende Übersicht erläutert die grundlegenden Eigenschaften dieser Systeme und vergleicht sie anhand zentraler Kriterien wie Latenz, Intuitivität, Kosten und Flexibilität.

**Lusee** ist ein ursprünglich an der FHNW entwickeltes System, das berührungslos mit Hilfe einer Kamera die Position eines Fingers erkennt. Die Interaktion erfolgt über Gesten auf einer Projektion. Obwohl das System intuitiv wirkt, leidet es unter hoher Latenz, eingeschränkter Präzision und begrenzter Flexibilität bei der Einrichtung.

(„Lusee Hardware“, n.d.)

**Touchscreen-Systeme** ermöglichen eine sehr direkte und präzise Eingabe durch Berührung. Sie sind vielen Nutzer:innen vertraut und bieten eine hohe Reaktionsgeschwindigkeit. Allerdings sind grossflächige Touchsysteme teuer, schwer skalierbar und in Workshop-Setups (z.B. 1:1-Projektionen am Boden) nicht praktikabel.

**Der IR-Stift** erzeugt Infrarotlicht an der Spitze, das von einer externen Kamera (z.B. Intel RealSense D455) erkannt wird. Durch Kalibrierung und Bildverarbeitung lässt sich der Stift in Echtzeit zur Zeicheneingabe verwenden. Die Methode ist günstig, flexibel einsetzbar und für viele Nutzer:innen durch die Stiftmetapher leicht verständlich.

**Tabelle 2.1:** Vergleich verschiedener Eingabemethoden

System	Latenz	Intuitivität	Kosten	Flexibilität
Lusee	Hoch	Mittel	Gering	Gering
Touchscreen	Gering	Hoch	Hoch	Gering
IR-Stift (eigene Lösung)	Mittel	Hoch	Gering	Hoch

## 2.4 Begründung für die Wahl des IR-Stifts

Der IR-Stift wurde schliesslich als bevorzugte Eingabemethode gewählt, da er eine für die meisten Nutzer:innen vertraute Stift-Metapher verwendet, eine hohe Genauigkeit ermöglicht und mit vergleichsweise geringem technischem Aufwand umsetzbar ist. Zudem erfordert er keine spezielle Berührungssensorik in der Zeichenfläche und ist somit besonders flexibel und portabel einsetzbar.

Die Integration in das geplante Tisch-Setup ist unkompliziert und unterstützt eine gleichberechtigte, kollaborative Nutzung durch mehrere Personen im Raum. Auch unter budgetären Bedingungen stellt diese Variante eine praktikable und nachhaltige Lösung dar.

Die Entscheidung für den IR-Stift wurde zudem mit dem Kunden abgestimmt, der die Begründung nachvollziehen konnte und ihr zustimmte.

## 2.5 Vergleich bestehender Systeme

Es existieren verschiedene Systeme zur berührungslosen oder berührungsbasierter Interaktion mit digitalen Flächen. Zu den wichtigsten gehören:

- **BenQ PointWrite:**

BenQ PointWrite ist eine kommerzielle Lösung von BenQ. Das System ist grundsätzlich interessant, jedoch im Vergleich zu nicht kommerziellen Lösungen sehr kostspielig und bei Schweizer Händlern nicht direkt verfügbar. Eine weitere Einschränkung besteht in der zwingenden Bindung an BenQ-Hardware, was die Flexibilität des Systems erheblich reduziert. („PointWrite™ PW03 Touch Module“, n.d.)

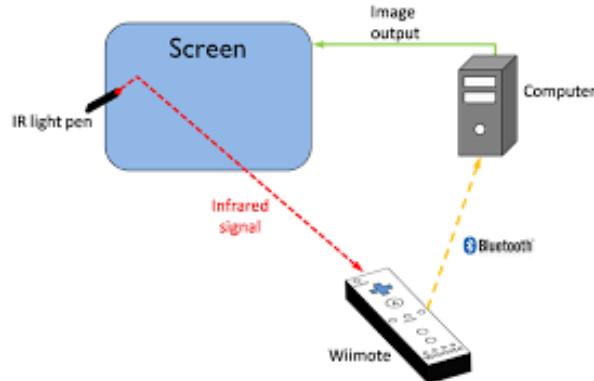


**Abbildung 2.2:** BenQ PointWrite  
("PointWrite™ PW03 Touch Module", n.d.)

- **Nintendo Wii Remote (Wiimote):**

Das Wiimote-Projekt ist ein bereits älteres Konzept, das einen Nintendo-Wii-Controller als Infrarotkamera verwendet. Positiv hervorzuheben sind die sehr kostengünstige Hardware und die einfache Handhabung des Systems. Problematisch ist jedoch, dass das System veraltet ist und keinen offiziellen Support mehr genießt. In Verbindung mit der nicht mehr produzierten Hardware und veralteten Software wurde dies von uns als kritisch bewertet. Zudem kann ein Wii-Controller nur maximal vier Punkte gleichzeitig erfassen, wodurch die Anzahl gleichzeitiger Nutzer:innen auf höchstens vier begrenzt ist.

(Lee, 2008)



**Abbildung 2.3:** Grafische Übersicht der Wiimote  
(„Installation des Pakets „GTK Wiimote Whiteboard““, n.d.)

- **Lusee (FHNW):**

Bei Lusee handelt es sich um ein ehemaliges Projekt der FHNW, das inzwischen in eine eigenständige Firma übergegangen ist. Wir hatten die Möglichkeit, das System direkt an der FHNW zu testen. Es handelt sich um ein technisch interessantes Konzept mit einer ungewöhnlichen, aber innovativen Bedienung. Bei unserem Test fielen jedoch eine hohe Latenzzeit sowie gewisse Ungenauigkeiten negativ auf.

(„Lusee Hardware“, n.d.)



**Abbildung 2.4:** Lusee  
(„Lusee Hardware“, n.d.)

## 2.6 Einordnung des eigenen Ansatzes

Wie Tabelle 2.1 zeigt, bietet der gewählte IR-Stift-Ansatz eine gute Balance zwischen Präzision, Kosten und technischer Einfachheit.

Im Gegensatz zu bestehenden Lösungen ist der eigene Ansatz:

- kostengünstig und mit Standard-Hardware realisierbar,
- flexibel einsetzbar und plattformunabhängig,

Für den Ansatz mit einem IR-Stift bieten die bestehenden Lösungen derzeit kein zufriedenstellendes Angebot. Die Lösung von BenQ ist kostenintensiv und setzt den Einsatz proprietärer Hardware voraus. Das Wiimote-Projekt überzeugt zwar durch ein einfaches und kostengünstiges System, basiert jedoch auf veralteter Hardware und Software, die nicht mehr offiziell hergestellt oder unterstützt wird. Durch die Eigenentwicklung können wir die Lösung gezielt auf unsere spezifischen Anforderungen sowie auf die verfügbare Hardware abstimmen.

### 3 Analyse der Ausgangslage

Dieses Kapitel untersucht die konkrete Ausgangssituation, in der das Projekt verankert ist. Basierend auf einem Workshop am Swiss Center for Design and Health (SCDH) sowie der übergeordneten Zielsetzung werden zentrale Probleme und Anforderungen identifiziert, die für die Entwicklung der geplanten Softwarelösung relevant sind. Die im vorangegangenen Kapitel 2 dargestellten technischen Grundlagen und bestehenden Systeme bilden dabei die Grundlage für die folgende Analyse.

Zunächst wird der beobachtete Workshopverlauf beschrieben, um die praktische Anwendungssituation besser zu verstehen. Anschliessend werden daraus konkrete Anforderungen abgeleitet, welche die technische und gestalterische Umsetzung im weiteren Projektverlauf mitprägen.

#### 3.1 Beobachtungen im Workshop

Im Rahmen des Projekts wurde ein Workshop des SCDH besucht, der am 3. April 2025 in Nidau stattfand. Auftraggeber des Workshops war das Wohnheim Humanitas aus Horgen. Ziel war es, die geplanten Arbeitsabläufe im zukünftigen Neubau des Wohnheims im Zusammenhang mit einem Assistenzkran realitätsnah zu simulieren und zu evaluieren.



**Abbildung 3.1:** Simulation der Barrierefreiheit im Neubau der Humanitas Stiftung  
("Neues Wohnheim Humanitas Stiftung", n.d.)

Hierzu wurden die bestehenden Baupläne auf die 1:1-Projektionsfläche überspielt. Das Workshopteam nutzte diese Fläche, um verschiedene alltägliche Situationen direkt vor Ort nachzustellen und auszuführen. Die Teilnehmenden konnten sich so durch Rollenspiel ein Bild von typischen Interaktionen und Bewegungsabläufen im geplanten Raumkonzept machen.

Der Ablauf des Workshops war in drei Phasen gegliedert:

- **Briefing:** Gemeinsame Einführung in die Zielsetzung und den Planungsstand.
- **Simulation:** Aktives Begehen und Durchspielen der Szenarien auf der Projektionsfläche.
- **Debriefing:** Diskussion und Reflexion von Verbesserungsmöglichkeiten am Raumkonzept.

Besonderes Augenmerk lag auf den Phasen *Briefing* und *Debriefing*, da diese für das Projekt relevant sind: In diesen Momenten hätten digitale Zeichen- und Interaktionsmöglichkeiten den Austausch zwischen Teilnehmenden nachweislich unterstützen können (siehe auch Abschnitt 4.2).

### 3.2 Abgeleitete Anforderungen aus dem Workshop

Die Beobachtungen vor Ort bestätigten nicht nur die Anforderungen aus der ursprünglichen Aufgabenstellung, sondern lieferten zusätzliche Einblicke in praktische Herausforderungen.

Folgende zusätzliche Anforderungen und Erkenntnisse wurden im Workshop identifiziert:

- **Niederschwellige Bedienung:** Die Lösung muss auch von Personen ohne technische Vorkenntnisse oder mit sprachlichen Barrieren genutzt werden können.
- **Echtzeit-Funktionalität:** Änderungen müssen sofort sichtbar sein, um den Diskussionsfluss nicht zu unterbrechen.
- **Zugängliche Bedienung vom Platz aus:** Teilnehmende sollen Zeichnungen oder Korrekturen vornehmen können, ohne sich zur Projektionsfläche bewegen zu müssen.
- **Unterstützung spontaner Visualisierung:** Ideen und Probleme (z. B. Türrichtung, Gerätelocationierung) müssen spontan eingezeichnet werden können, um Missverständnisse zu vermeiden.

Diese Anforderungen belegen, dass ein interaktives Zeichensystem einen echten Mehrwert für solche Workshops darstellen kann, nicht nur zur Planung, sondern auch zur Verbesserung von Kommunikation, Teilhabe und gemeinsamen Entscheidungen.

## 4 Lösung

In diesem Kapitel wird die geplante Lösung beschrieben, die es Nutzer:innen ermöglicht, in einer kollaborativen Umgebung Grundrisse einfach und intuitiv zu skizzieren. Ziel ist es, ein System zu schaffen, das sowohl technische Anforderungen wie Echtzeitverarbeitung und Projektion als auch nutzerzentrierte Aspekte wie Bedienbarkeit und Flexibilität berücksichtigt.

### 4.1 Vision der Lösung

Das System soll in Form eines interaktiven Tisches aufgebaut sein oder sich direkt auf einer Projektionstischfläche befinden. Diese physische Mitte des Workshops erlaubt allen Beteiligten, sich gleichberechtigt zu beteiligen. Durch die direkte Interaktion mit einem Infrarotstift können Nutzer:innen Ideen frei skizzieren, bestehende Elemente anpassen oder neue ergänzen. Die dabei entstehenden Änderungen werden in Echtzeit auf eine 1:1-Projektionsfläche übertragen.

Dieser Ansatz vereinfacht den Austausch, reduziert Missverständnisse und beschleunigt den Planungsprozess. Das System ermöglicht eine niederschwellige Beteiligung aller Workshopteilnehmenden, auch ohne technische Vorkenntnisse, und unterstützt so eine effektive und kollaborative Zusammenarbeit.

### 4.2 Beobachtete Verbesserungspotenziale im Workshop

Im Workshop zeigte sich deutlich, dass bestehende Methoden wie das manuelle Zeichnen auf Papier oder Bodenplänen häufig umständlich, langsam und interpretationsanfällig sind. Einzelne Beobachtungen belegen dies exemplarisch:

- Ein Teilnehmer konnte eine Türrichtung nur schwer erklären. Mit einem digitalen Tool hätte er das Problem einfach aufzeigen können.
- Die Architektin musste physisch aufstehen, um eine Änderung im Plan vor Ort zu markieren, was den Ablauf unterbrach.

Ein digitales Zeichensystem hätte in beiden Situationen zu mehr Klarheit und Effizienz geführt. Zudem wurde im Rahmen des Kundeninterviews betont, dass Änderungen in einem digitalen System unmittelbar dokumentiert und als Bilddatei an die Architekt:innen weitergegeben werden können. Dadurch entfällt die Notwendigkeit, zunächst einen schriftlichen Bericht zu verfassen, was den Kommunikations- und Entscheidungsprozess erheblich beschleunigt.

### 4.3 User Story - vorher und nachher

Um den Mehrwert der entwickelten Lösung greifbar zu machen, werden im Folgenden zwei beispielhafte Szenen gegenübergestellt: einmal ohne unterstützendes Zeichentool und einmal mit der neuen Anwendung.

Das dargestellte Szenario basiert auf einem realen Workshop mit dem Wohnheim Humanitas am SCDH. Dort wurde gemeinsam mit Pflegefachkräften und Architektinnen ein konkreter Fall aus dem Pflegealltag simuliert und analysiert.

#### **Vorher: Ohne digitale Unterstützung**

**Teilnehmer:** Pflegefachkraft, Architektin, Workshop-Moderator

Während des Szenarios wurde deutlich, dass die Tür zwischen einem Pflegezimmer und dem angrenzenden Duschraum nach aussen öffnet. Diese öffnet sich in die Richtung der ankommenden Person. Eine Pflegefachkraft wies darauf hin, dass dies im Pflegealltag hinderlich sei, insbesondere beim Schieben eines Rollstuhls oder Pflegebetts, da der Türflügel den Durchgang blockieren kann. Der Teamleiter griff das Anliegen auf und brachte es im abschliessenden Debriefing zur Sprache.

In der anschliessenden Diskussion mit den Architektinnen und Architekten zeigte sich, dass eine Öffnung nach innen aus baulichen Gründen nicht realisierbar ist. Es entstand die Idee, von einer linksöffnenden zu einer rechtsöffnenden Tür zu wechseln.

Der Workshop-Moderator versuchte daraufhin, die Situation mithilfe eines digitalen Plans auf dem Präsentationsbildschirm am vorderen Ende des Raums zu skizzieren. Da er die räumlichen Ausführungen jedoch nicht vollständig verstanden hatte, war er nicht in der Lage, die Änderung gemäss der Vorstellung der Teilnehmenden einzuziehen. Dies führte zu Verwirrung, Rückfragen und Verzögerungen, welche den Gesprächsverlauf merklich störten.

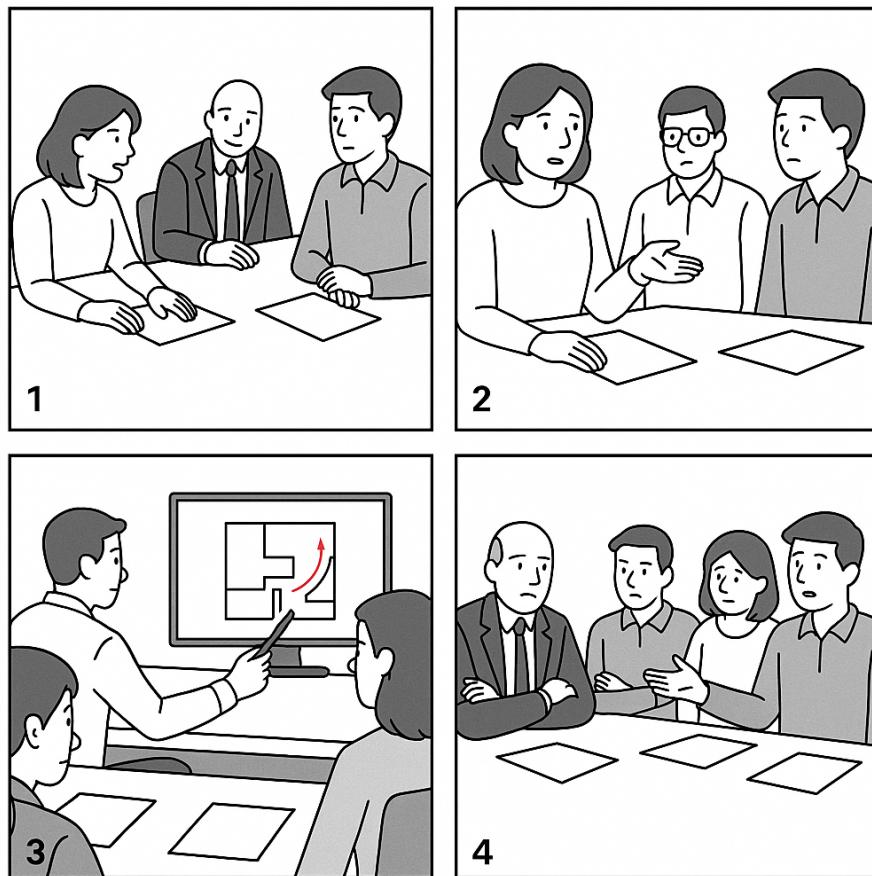


Abbildung 4.1: Storyboard ohne digitales Zeichentool

**Legende:**

- **Panel 1:** Eine Pflegefachkraft spricht ein von ihr erkanntes Problem an.
- **Panel 2:** Die Architektin sitzt am Tisch und schaut fragend. Ihre Körperhaltung zeigt Unklarheit über das geschilderte Problem.
- **Panel 3:** Die Diskussion ist unterbrochen. Der Moderator sitzt allein vor dem Desktop. Er blickt konzentriert, aber unsicher auf den Bildschirm und arbeitet an der Visualisierung.
- **Panel 4:** Die Gruppe blickt auf den Bildschirm. In den Gesichtern ist Irritation erkennbar. Die vom Moderator erstellte Visualisierung entspricht nicht dem Problem der Pflegefachkraft.

### Nachher: Mit digitalem Zeichentool

**Teilnehmer:** dieselben Rollen wie zuvor

Die Anwendung erlaubt es, mithilfe eines Infrarotstifts intuitiv auf einer horizontalen Projektionsfläche zu zeichnen. Die Eingaben werden in Echtzeit erkannt und visuell hervorgehoben. Mit diesem neuen digitalen Zeichentool hätte jede beteiligte Person, zum Beispiel die Pflegefachkraft oder der Teamleiter, die räumliche Problematik direkt auf dem projizierten Grundriss auf dem Tisch visualisieren können.

- Position der betroffenen Tür
- Richtung der Türöffnung
- Bewegungsweg der Pflegeperson

Alle relevanten Informationen wären direkt für alle Beteiligten sichtbar gewesen. Die Darstellung auf der gemeinsamen Tischprojektion hätte es ermöglicht, räumliche Situationen live zu erfassen und gemeinsam zu diskutieren. Die Auswirkungen der Türöffnung auf die Bewegungssituation wären unmittelbar nachvollziehbar gewesen.

Im weiteren Verlauf hätte die Architektin anhand der markierten Türposition und Öffnungsrichtung rasch erkannt, worin das Problem besteht. Alle Änderungen an der Türposition oder der Türöffnungsrichtung hätten direkt und unmissverständlich visualisiert, gemeinsam diskutiert und auf ihre Umsetzbarkeit überprüft werden können.

Die Diskussion wäre visuell unterstützt, interaktiv und zielgerichtet verlaufen. Fehlinterpretationen und Missverständnisse, wie sie im ursprünglichen Szenario auftraten, wären vermieden worden. Darüber hinaus hätte das System die erarbeitete Skizze automatisch dokumentieren und als Datei weitergegeben werden können, ohne zusätzliche Nachbearbeitung.

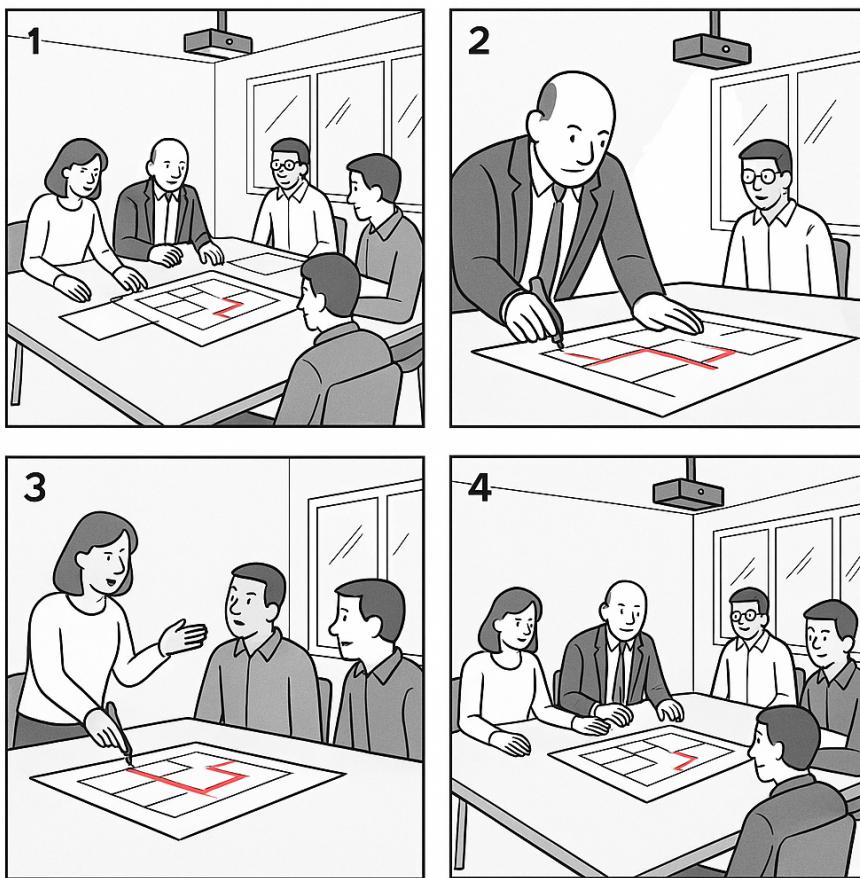


Abbildung 4.2: Storyboard mit digitalem Zeichentool

**Legende:**

- **Panel 1:** Die Beteiligten sitzen gemeinsam um den interaktiven Tisch. Der Grundriss wird auf die Tischfläche projiziert. Die Szene leitet die Diskussion zur Türsituation ein.
- **Panel 2:** Die Türposition und ihre Öffnungsrichtung werden deutlich sichtbar (in rot) auf dem Plan eingezeichnet. Alle Beteiligten blicken darauf.
- **Panel 3:** Die Architektin hebt die Hand und bringt sich aktiv ein. Ihr Gesichtsausdruck zeigt, dass sie das Problem nachvollziehen kann.
- **Panel 4:** Zwei Personen deuten auf den Plan. Die Diskussion ist im Gange, die vorgeschlagene Lösung wird gemeinsam reflektiert.

#### 4.4 Verknüpfung mit den Forschungsfragen

Die in diesem Kapitel dargestellten Herausforderungen und Lösungsansätze lassen sich klar auf die im Projekt definierten Forschungsfragen beziehen:

Die Beobachtungen im Workshop, insbesondere die erschwerte Kommunikation räumlicher Probleme und die mangelnde Flexibilität bei Änderungen, unterstreichen die Relevanz von **Forschungsfrage 1**, in der untersucht wird, *wie ein System gestaltet werden kann, das eine einfache und kollaborative Planung von Grundrissen ermöglicht*. Unsere Lösung adressiert diese Problematik durch die Kombination eines intuitiven Zeichensystems mit direkter Projektion.

Bezüglich **Forschungsfrage 2** *wie die Benutzeroberfläche trotz Funktionsreichtum verständlich und intuitiv für Laien gestaltet werden kann* wurde bei der Systemgestaltung besonders auf eine stiftbasierte Eingabe gesetzt. Diese ist für Nutzer:innen vertraut und benötigt keine Schulung oder erklärende Bedienkonzepte.

Schliesslich zielt **Forschungsfrage 3** darauf ab, zu verstehen, *wie die Lösung in realen Workshops hinsichtlich Usability, Zusammenarbeit und Flexibilität wahrgenommen wird*. Die im Workshop beobachteten Situationen zeigen deutlich, dass ein visuelles Live-Tool den Diskussionsfluss verbessert, die Beteiligung aller fördert und sich flexibel an unterschiedliche Anforderungen des SCDH anpassen lässt. Zudem gibt eine digitale Lösung den Teilnehmenden die Sicherheit, dass ihre Inputs direkt und korrekt erfasst werden und nicht bei der Protokollierung verloren gehen oder später fehlinterpretiert werden.

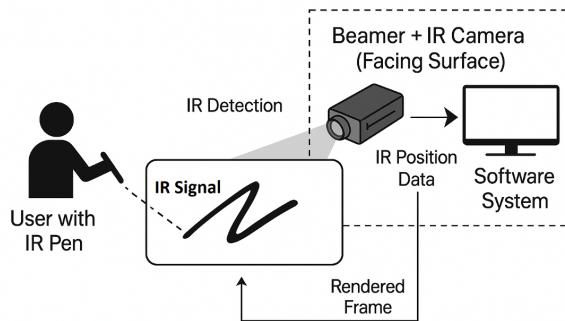
Damit wird deutlich, dass die Systemgestaltung nicht isoliert entstanden ist, sondern direkt aus den praktischen Bedürfnissen und Anforderungen des Projektkontexts abgeleitet wurde.

## 5 Implementation

In diesem Kapitel wird die Architektur des Gesamtsystems sowie die Hardware- und Software-Implementierung beschrieben.

### 5.1 Architektur

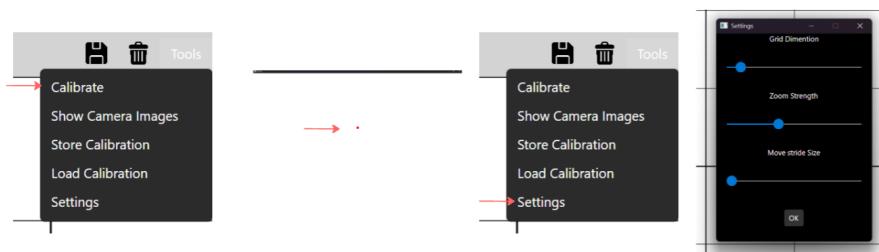
Das System besteht aus einer in C# entwickelten Software, der Infrarotkamera Intel RealSense D455 und einem generischen Infrarotstift. Die Software ist plattformübergreifend kompatibel mit Windows, Linux und macOS.



**Abbildung 5.1:** Systemübericht

### 5.2 Setup

Für das Setup muss die Kamera an den Computer angeschlossen und auf einen Bildschirm oder eine Projektionsfläche ausgerichtet werden. Anschliessend kann die Kalibrierung der Zeichenfläche über das Menü **Tools** → **Kalibrierung** (oben rechts in Abbildung 5.6) gestartet werden. Im Kalibrierungsfenster muss der Infrarotstift nacheinander auf die fünf eingeblendeten Punkte gerichtet und aktiviert werden. Sobald sich das Fenster schliesst, ist das System bereit, um die Zeicheneingaben korrekt zu erfassen. Anschliessend können noch die PDF funktionieren und die Gittergrösse angepasst werden.



**Abbildung 5.2:** Kurzanleitung für das Setup

Mit den Buttons **Store**- und **Load Calibration** kann die aktuelle Kalibration abgespeichert oder geladen werden um bei gleichem Setup die Einrichtung überspringen zu können.

### 5.3 Hardware-Setup

In diesem Abschnitt erläutern wir die eingesetzte Hardware sowie Anforderungen an mögliche Alternativen.

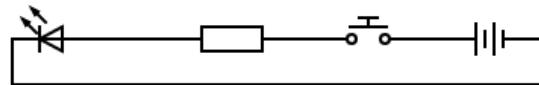
#### 5.3.1 Infrarotstift

Wir verwenden einen generischen Infrarotstift (siehe Anhang für Verkaufslink A). Dieser verfügt über eine Infrarot-LED, die durch das Eindrücken der Spitze oder das Drücken einer Taste auf der Oberseite aktiviert wird.



**Abbildung 5.3:** Bild eines Infrarotstiftes

Es kann auch ein beliebiger anderer Infrarotstift verwendet werden. In der nachfolgenden Abbildung ist ein einfaches elektrisches Schema für die Mindestanforderung an die Hardware.



**Abbildung 5.4:** Beispiel Schema für Infrarotstift

### 5.3.2 Infrarotkamera

Wir verwenden die Infrarotkamera Intel RealSense D455, da sie dem SCDH bereits zur Verfügung stand. Die D455 verfügt über zwei Infrarotkameras, eine RGB-Kamera sowie einen steuerbaren Infrarot-Laser. Für unsere Anwendung genügt eine der beiden IR-Kameras.



**Abbildung 5.5:** Intel RealSense D455

Zur Verbesserung der Bildqualität unter schwierigen Lichtverhältnissen wurde eine Filterfolie angebracht (Dämpfungskurve ersichtlich in AbbildungA.1). Als Ersatz eignen sich prinzipiell alle Intel RealSense IR-Kameras mit SDK-Unterstützung. Mit Anpassungen in der InfraredCamera-Klasse können auch andere Kameramodelle eingesetzt werden.

## 5.4 Software

In diesem Abschnitt stellen wir zentrale Softwarekomponenten vor.

### 5.4.1 Benutzeroberfläche (UI)

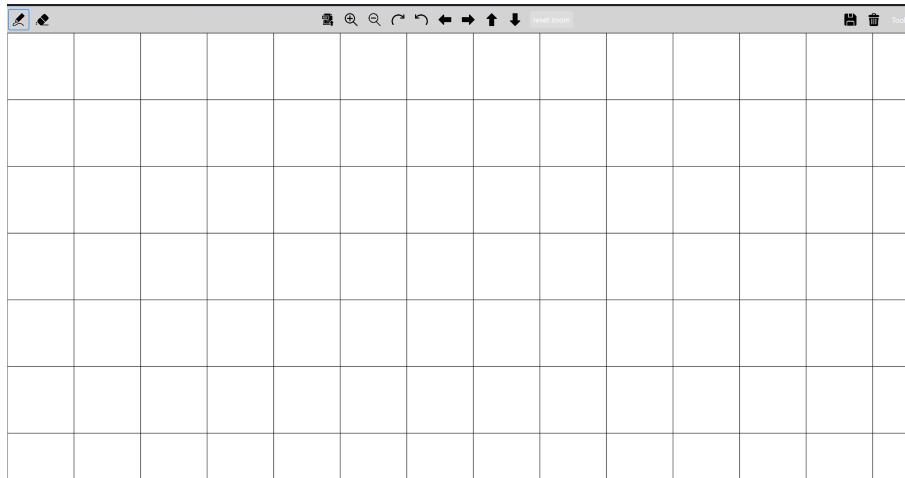


Abbildung 5.6: UI Screenshot

Die Benutzeroberfläche besteht aus der Zeichenfläche und einer Werkzeugeiste.

Die Werkzeugeiste stellt Funktionen wie Farbauswahl, PDF-Import, Zoom und Pan bereit (detaillierte Dokumentation im Anhang). Für die UI wurde hauptsächlich die Avalonia-Library verwendet.

### 5.4.2 Zeichenfläche

Die Zeichenfläche basiert auf einer SKWritableBitmap in einem SKCanvas aus der SkiaSharp-Library. Zeicheneingaben mit Maus oder IR-Stift werden über diese Bitmap dargestellt.

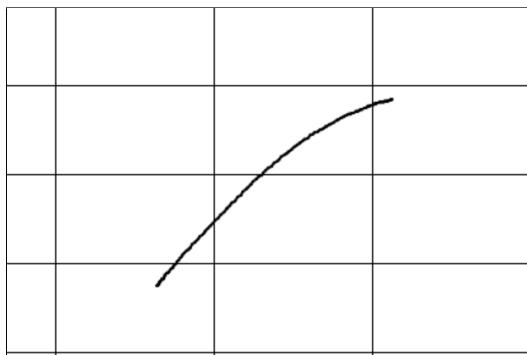
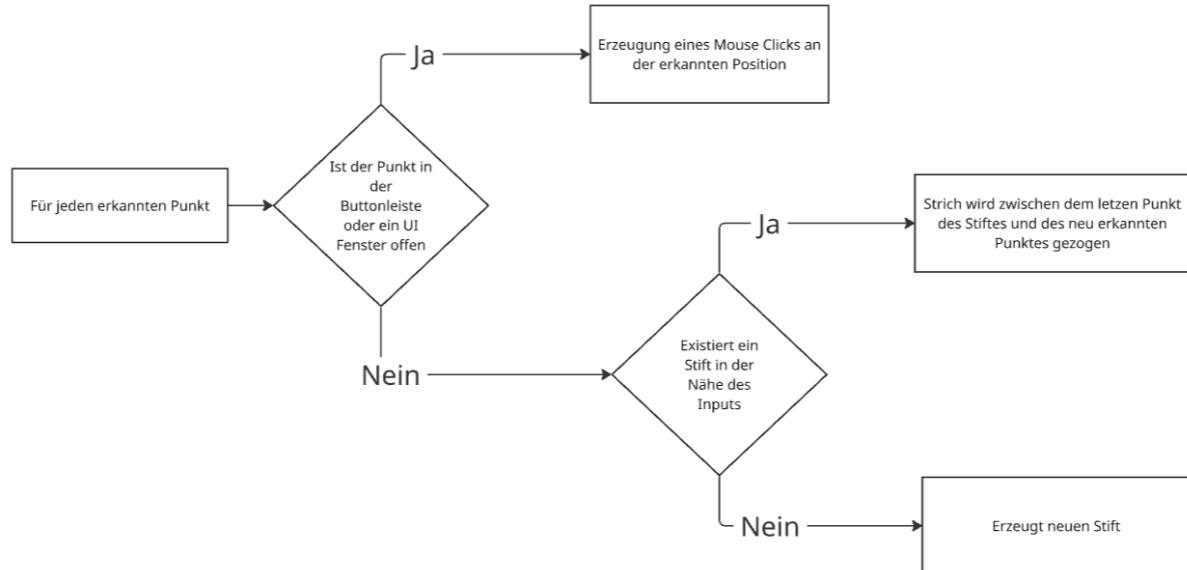


Abbildung 5.7: Zeichnungsstrich

```
_skCanvas.DrawLine((float)from.X, (float)from.Y, (float)to.X, (float)to.Y, paint);
_skCanvas.DrawCircle((float)to.X, (float)to.Y, radius*paint.StrokeWidth / 2, paint);
```

Abbildung 5.8: Code zur Darstellung eines Striches

Für die Verarbeitung der Stift-Eingaben ist ein Eventhandler zuständig, der auf ein CameraEvent der Klasse InfraredCamera reagiert. Dieser Event informiert die UI-Klasse über erkannte Punkte. Für alle erkannten Punkte in der Liste wird folgende Verarbeitungspipeline durchlaufen:

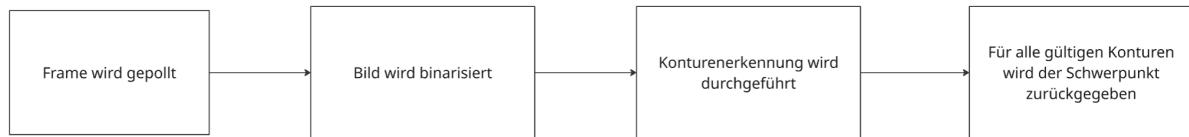


**Abbildung 5.9:** Ablaufschema für die Verarbeitung der erkannten Punkte

Zuerst wird geprüft, ob sich der Punkt im Bereich der Werkzeugeiste befindet. Ist dies der Fall, oder ist durch die Leiste ein Fenster geöffnet, wird der Punkt in einen Mausklick im entsprechenden Screen-Space umgewandelt. So können plattformunabhängig auch systemeigene Dialoge wie etwa Dateiauswahlen bedient werden. Handelt es sich nicht um einen Steuerungsinput, wird der Punkt als Zeichenbefehl interpretiert. Zur Darstellung einer Linie werden jeweils der aktuelle sowie der letzte Punkt eines Stifts benötigt. Das Tracking erfolgt über eine Liste aller aktiven Stifte, wobei für jeden der letzte Punkt und ein Zeitstempel gespeichert werden. Neue Punkte werden dem wahrscheinlichsten existierenden Stift zugeordnet, basierend auf Distanz und Zeitdifferenz. Falls eine Zuordnung erfolgt, wird eine Linie gezeichnet und die Stiftinformationen aktualisiert.

### 5.4.3 Infrarot Stift Erkennung

Die Erkennung der Stiftspitze erfolgt vollständig innerhalb der InfraredCamera-Klasse. Die Kamera wird über die Intel RealSense SDK angesteuert, die Erkennung erfolgt mit OpenCV.

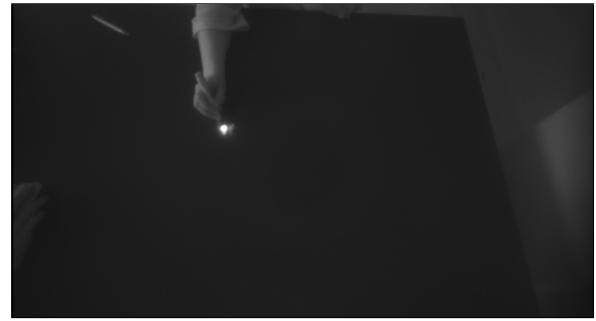


**Abbildung 5.10:** Ablaufsschema der Stift erkennung

Zunächst werden Bilder der IR-Kamera gepolt:



**Abbildung 5.11:** Sicht der RGB Kamera



**Abbildung 5.12:** Sicht der IR Kamera

Diese Bilder werden mittels einfacher Threshold-Binarisierung segmentiert:



**Abbildung 5.13:** Sicht der IR Kamera

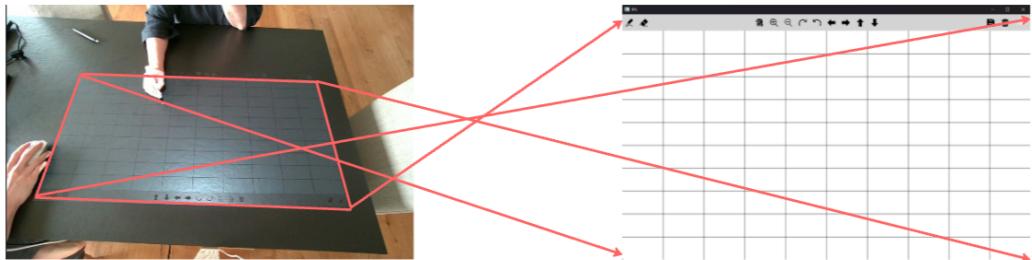


**Abbildung 5.14:** Segmentiertes Bild

In den segmentierten Bildern werden mit OpenCV die Konturen erkannt. Der Schwerpunkt jedes Blobs in dem segmentierten Bild (Abbildung 5.14) wird über das zentrale Moment berechnet und als Stiftspitze interpretiert.

$$x = \frac{M_{10}}{M_{00}}, \quad y = \frac{M_{01}}{M_{00}}$$

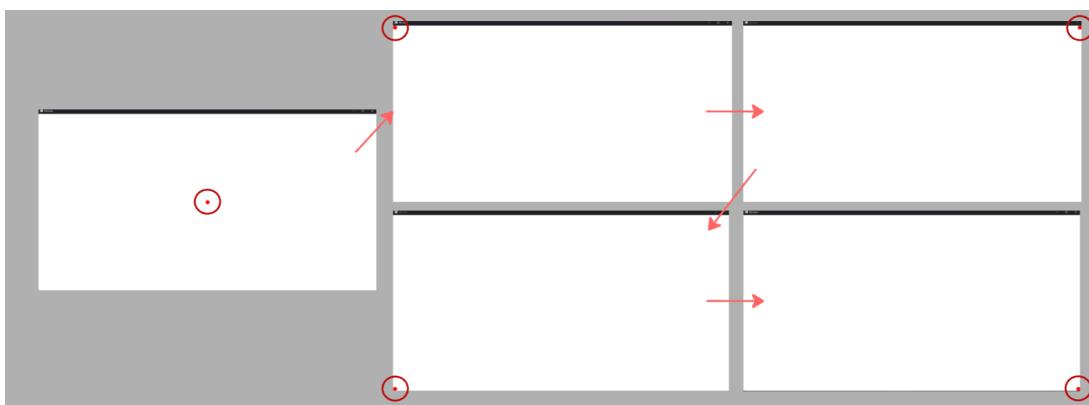
Der erkannte Bildpunkt wird anschliessend per Homographie in den Screenspace übersetzt und zur Liste der gültigen Eingabepunkte hinzugefügt. Die Homographie-Matrix wird ebenfalls mit OpenCV berechnet:



**Abbildung 5.15:** Verbildungung der Homography

#### 5.4.4 Kalibration

Für die Kalibration werden nacheinander fünf Punkte auf der Zeichenfläche angezeigt:



**Abbildung 5.16:** Kalibrationsablauf

Bei jedem dieser Punkte wird auf ein CameraEvent gewartet. Der jeweils zuerst erkannte Punkt im Kamerabild wird als entsprechender Kalibrationspunkt im Kameraraum gespeichert.

Diese Punkte im Kamerakoordinatensystem werden anschliessend zusammen mit den bekannten Referenzpunkten im Screen-Space an OpenCV übergeben, um die Homographie-Matrix zu berechnen. Nach erfolgreicher Berechnung der Homographie-Matrix ist die Kalibration abgeschlossen und das Kalibrationsfenster wird automatisch geschlossen.

## 6 Auswertung

Dieses Kapitel präsentiert die Ergebnisse der Evaluation der entwickelten Anwendung im Hinblick auf die in Kapitel 1 formulierten Forschungsfragen. Die Auswertung verfolgt das Ziel, die Gebrauchstauglichkeit (Usability), Verständlichkeit sowie die Eignung der Lösung für kollaborative Planungssituationen zu überprüfen. Dazu wurden sowohl quantitative Methoden in Form der standardisierten *System Usability Scale* (SUS) als auch qualitative Verfahren wie Beobachtungen, Freitextfeedback und ein praxisnaher Feldtest eingesetzt. Diese methodische Kombination ermöglicht es, einerseits messbare, vergleichbare Kennzahlen zu erheben und andererseits detaillierte Einblicke in die Nutzererfahrung und potenzielle Verbesserungspotenziale zu gewinnen.

### 6.1 Zielsetzung der Auswertung

Die Evaluation der entwickelten Anwendung verfolgt das Ziel, ihre Gebrauchstauglichkeit, Verständlichkeit und Eignung für kollaborative Nutzung zu untersuchen. Dabei stehen insbesondere die drei formulierten Forschungsfragen im Fokus:

- Wie intuitiv ist die Nutzung für Laien?
- Wie verständlich und zugänglich ist die Oberfläche trotz Funktionsvielfalt?
- Wie wird die Lösung in realen Anwendungsszenarien wahrgenommen?

### 6.2 Durchführung und Methodik

Die Evaluation erfolgte in Form von nutzerzentrierten Usability-Tests mit Teilnehmenden aus der relevanten Zielgruppe. Die Testpersonen bearbeiteten ein Szenario mit mehreren Aufgaben zur Raumgestaltung mithilfe des Infrarotstifts.

Der Ablauf umfasste:

- eine kurze Einführung in das System,
- die eigenständige Nutzung der Anwendung,
- die Beantwortung der System Usability Scale (SUS),
- eine Freitext-Rückmeldung sowie
- eine passive Beobachtung durch das Projektteam.

Zusätzlich wurden Feldtests mit dem Kunden (SCDH) durchgeführt. Dabei wurde das System in realistischen Anwendungsszenarien erprobt und im Anschluss strukturierte Interviews durchgeführt.



**Abbildung 6.1:** Testaufbau mit Projektion und IR-Stift (SUS)



**Abbildung 6.2:** Gesamtansicht der Testumgebung (SUS)

### 6.3 SUS-Auswertung

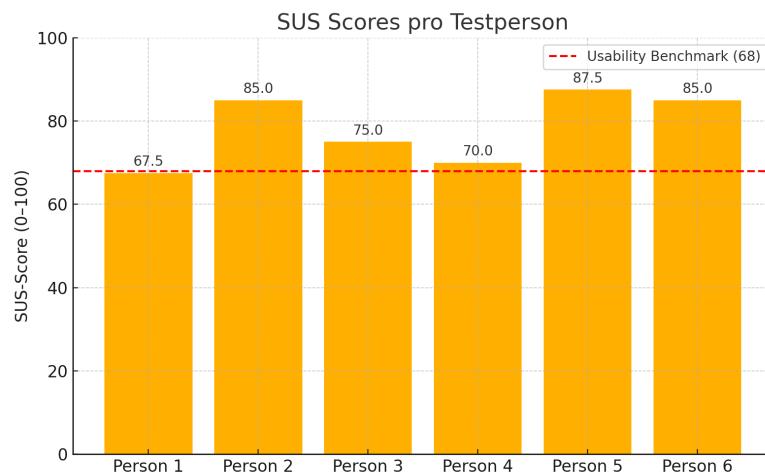
Zur Bewertung der Gebrauchstauglichkeit wurde die etablierte Methode des *System Usability Scale* (SUS) verwendet. Der SUS ist ein standardisiertes Umfrageinstrument, das aus zehn Aussagen besteht, die von den Teilnehmenden auf einer fünfstufigen Likert-Skala (von „stimme überhaupt nicht zu“ bis „stimme voll und ganz zu“) bewertet werden. Der SUS ist bewusst allgemein gehalten, um auf unterschiedlichste digitale Systeme angewendet werden zu können. Er erfasst sowohl die wahrgenommene Einfachheit als auch die Effizienz der Nutzung und erlaubt einen Vergleich mit anderen Systemen anhand eines normierten Scores. Ein Mittelwert von 68 gilt dabei als durchschnittliche Usability. Im Rahmen des Tests mit vier Teilnehmenden wurde der SUS nach Abschluss der praktischen Erprobung der Anwendung ausgefüllt. Die Ergebnisse wurden anschliessend mithilfe einer standardisierten Template-Berechnung ausgewertet, bei der jedem Item ein Punktewert zugeordnet und auf eine Skala von 0 bis 100 normiert wird. Diese Vorgehensweise bietet eine einfache und zugleich wissenschaftlich etablierte Möglichkeit, die wahrgenommene Benutzerfreundlichkeit zu quantifizieren. Sie eignet sich insbesondere für kleinere Testgruppen und liefert dennoch verlässliche Aussagen über die grundsätzliche Akzeptanz und Bedienbarkeit eines Systems.

(Brooke, 1986) (UIUXTrend, 2023)

Die Bewertungen ergaben folgende Scores:

- **Person 1:** 67.5 Punkte
- **Person 2:** 85.0 Punkte
- **Person 3:** 75.0 Punkte
- **Person 4:** 70.0 Punkte
- **Person 5:** 87.5 Punkte
- **Person 6:** 85.0 Punkte

Der Mittelwert liegt bei **78.33 Punkten**. Dies weist auf eine insgesamt gute bis sehr gute Gebrauchstauglichkeit der Anwendung hin. Abbildung 6.3 visualisiert die Ergebnisse im Vergleich zum Standardbenchmark.



**Abbildung 6.3:** SUS-Bewertung aller Testpersonen im Vergleich zum Benchmark (68 Punkte)

## 6.4 Qualitatives Feedback und Beobachtungen

Neben der quantitativen Bewertung wurde zusätzlich qualitatives Feedback in Form von offenen Fragen und Beobachtungen erhoben. Dieses qualitative Feedback ermöglicht eine vertiefte Analyse und liefert detaillierte Einblicke in die Stärken und Schwächen der Anwendung. Dadurch können nicht nur allgemeine Tendenzen, sondern auch spezifische Verbesserungspotenziale identifiziert werden, die in der quantitativen Auswertung möglicherweise nicht erkennbar sind.

### Positiv bewertet wurden:

- Das grundlegende Konzept wurde mehrfach positiv beurteilt. Insbesondere das freie Zeichnen auf einer beliebigen Zeichenfläche kam bei fast allen Testpersonen sehr gut an.
- Die einfache und intuitive Bedienung wurde durchgehend als positiv empfunden.

### Herausforderungen und Verbesserungspotenziale:

- Es herrschte Unsicherheit bezüglich der Bedeutung einzelner Icons. So wurde beispielsweise das Rotations-Icon von mehreren Testpersonen fälschlicherweise als „Undo“-Button interpretiert.
- Bei einigen Tests traten noch Bugs sowie Präzisionsprobleme auf, welche negativ auffielen.
- Die Radierfunktion erhielt gemischtes Feedback. Einige Nutzer wünschten sich mehr Auswahlmöglichkeiten bezüglich der Funktionsweise. Insbesondere wurde kritisiert, dass der Hintergrund mitgelöscht wird. Dies wurde von einigen Personen negativ bewertet, während andere die Funktion grundsätzlich akzeptierten, jedoch einen separaten Modus forderten, um Striche oder Bereiche zu löschen, ohne den Hintergrund zu beeinträchtigen.

Grundsätzlich wurden vor allem fehlende Funktionen sowie Funktionen mit unzureichendem Umfang negativ bewertet, während die Qualität und Verständlichkeit insgesamt als gut eingeschätzt wurden. Das qualitative Feedback und die Beobachtungen erwiesen sich dabei als besonders wertvoller Input. So wurde beispielsweise bereits bei der ersten Testperson festgestellt, dass das ursprüngliche Konzept für ein Setup mit einer Kamera im 90°-Winkel zur Zeichenfläche nicht optimal ist. Dieses Problem konnte daraufhin unmittelbar behoben werden, sodass es bei allen nachfolgenden Tests nicht mehr auftrat.

## 6.5 Feldtest mit Kundeninterview

Um das Verhalten des Systems in einer möglichst realitätsnahen Umgebung zu prüfen, wurde ein Feldtest direkt beim SCDH in Nidau durchgeführt. Dabei wurde das System vor Ort installiert und im Rahmen einer Demonstration für den SCDH ein simulierter Workshopablauf durchgespielt. Anschliessend wurde ein Interview mit David Wollschlegel geführt, um seine Einschätzung zum System einzuholen. Dabei wurden verschiedene Punkte zum System, zu den Integrationsmöglichkeiten sowie zu Verbesserungs- und Erweiterungspotenzialen erörtert. Insgesamt zeigte sich David Wollschlegel sehr zufrieden mit dem Endstand des Projekts.



Abbildung 6.4: Setup beim Feldtest im SCDH

### Positive Punkte:

- Das System erfüllt grundsätzlich die gestellten Anforderungen.
- Es fügt sich bereits gut in die bestehenden Arbeitsprozesse des SCDH ein.
- Insgesamt weist es ein vielversprechendes Potenzial auf und bietet einen klaren Mehrwert gegenüber bestehenden Methoden und Möglichkeiten.

### Negative Punkte:

- Ein leichter Offset wurde als geringfügig störend wahrgenommen, jedoch nicht als gravierend bewertet.

### Feedback zur Zukunft:

- Mögliche Hürden bei der Einführung in ein produktives Umfeld am SCDH liegen nicht im System selbst, sondern in der Beschaffung, dem Setup vor Ort sowie der Integration in die bestehende Softwarelandschaft des SCDH.
- Das System bietet dem SCDH die Möglichkeit, neue Angebote zu entwickeln.
- Es wurden verschiedene Feature-Wünsche und Ideen besprochen, beispielsweise ein Objektkatalog, Cloud- und Remote-Funktionen sowie weitere Features und *Quality-of-Life*-Verbesserungen.

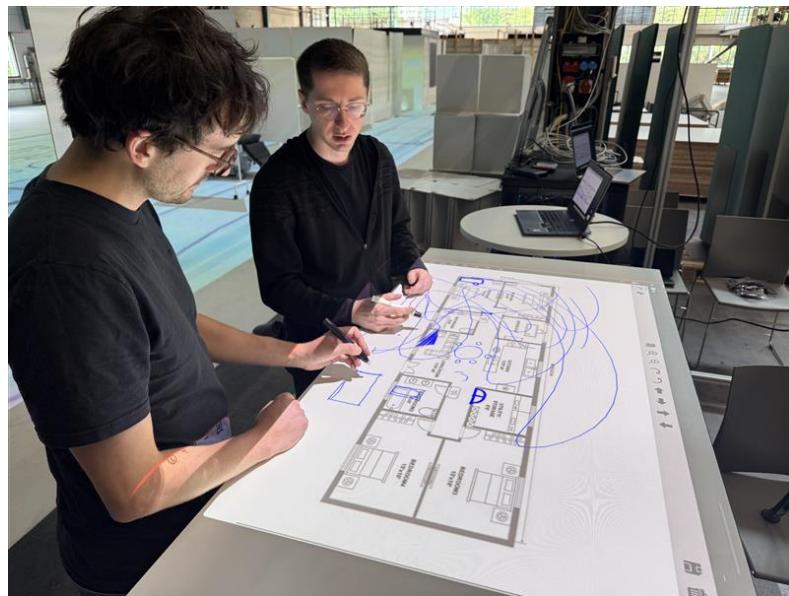


Abbildung 6.5: Feldtest am SCDH mit dem Kunden

## 6.6 Fazit

Die Tests zeigten, dass die Anwendung sehr gut angenommen wird. Der durchschnittliche SUS-Wert liegt mit 78.33 Punkten deutlich über dem branchenüblichen Schwellenwert von 68 Punkten und bestätigt damit eine hohe Gebrauchstauglichkeit. Da die Bewertung nach der anerkannten *System Usability Scale* (SUS) erfolgte, sind die Ergebnisse gut mit anderen Studien und Systemen vergleichbar und unterstreichen die methodische Validität der Erhebung.

Neben den positiven quantitativen Ergebnissen lieferten auch die qualitativen Rückmeldungen wertvolle Hinweise für mögliche Optimierungen. Der durchgeführte Feldtest mit dem Kunden bestätigte die Praxistauglichkeit der Lösung und identifizierte zentrale Verbesserungspotenziale wie eine optimierte Kalibrierung, zusätzliche Funktionen wie Undo/Redo sowie erweiterte Integrationsmöglichkeiten.

Insgesamt steht fest, dass die entwickelte Lösung sowohl in ihrer aktuellen Form produktiv eingesetzt werden kann als auch eine solide Basis für zukünftige Erweiterungen bietet. Der erzielte Entwicklungsstand erfüllt die gesteckten Projektziele vollständig und belegt das Potenzial des Systems für den langfristigen Einsatz in unterschiedlichen Anwendungskontexten.

## 7 Diskussion

In diesem Kapitel werden die Ergebnisse und Beobachtungen im Rahmen des Projekts kritisch reflektiert. Dabei stehen sowohl die Einordnung der Lösung in den Anwendungskontext als auch ihre Stärken, Schwächen und offene Fragen im Vordergrund.

### 7.1 Erfüllung der Projektziele

Die entwickelte Anwendung erfüllt die grundlegenden Anforderungen, die in der Aufgabenstellung und in den Workshops definiert wurden. Nutzer:innen können mit dem IR-Stift intuitiv auf einer Projektionsfläche zeichnen, Inhalte in Echtzeit anpassen und gemeinsam an Raumkonzepten arbeiten. Besonders positiv hervorzuheben ist die niedrige Einstiegshürde für Laien sowie die plattformübergreifende Architektur.

Die im Rahmen der Usability-Tests erreichten Ergebnisse bestätigen den Erfolg der Umsetzung: Mit einem durchschnittlichen SUS-Wert von 78.33 Punkten liegt die Anwendung deutlich über dem branchenüblichen Schwellenwert von 68 Punkten und weist somit eine hohe Gebrauchstauglichkeit auf. Auch der durchgeführte Feldtest mit dem Kunden hat die Praxistauglichkeit der Lösung unter realistischen Bedingungen bestätigt und wertvolle Hinweise zur Weiterentwicklung geliefert. Diese Kombination aus hoher Benutzerfreundlichkeit und positiver Rückmeldung aus der realen Anwendung belegt, dass die gesteckten Projektziele nicht nur erfüllt, sondern in wesentlichen Aspekten übertroffen wurden.

### 7.2 Einordnung in den Anwendungskontext

Der Einsatz im Workshop-Kontext am SCDH hat sich als besonders sinnvoll erwiesen. Die Lösung adressiert reale Herausforderungen wie Kommunikationsbarrieren, unklare Türrichtungen oder mangelnde Flexibilität bei kurzfristigen Änderungen. Durch die direkte Visualisierung auf der 1:1-Projektionsfläche können Anpassungen ohne Zeitverlust umgesetzt und allen Teilnehmenden sofort präsentiert werden.

Ein wesentlicher Vorteil für das SCDH liegt in der hohen Flexibilität des Systems. Es lässt sich sowohl mit bestehenden Grundrissplänen als auch auf einer leeren Projektionsfläche einsetzen und unterstützt so unterschiedliche Workshop-Formate von der frühen Konzeptphase bis zur detaillierten Layoutdiskussion. Zudem kann das System schnell auf neue Szenarien angepasst werden, ohne dass zusätzliche Schulungen oder technisches Vorwissen erforderlich sind.

Der Feldtest hat gezeigt, dass diese Flexibilität in der Praxis von grossem Vorteil ist. So können Änderungen während des Workshops sofort als Bild exportiert und den Architekt:innen zur weiteren Bearbeitung bereitgestellt werden, ohne den Umweg über einen schriftlichen Bericht gehen zu müssen. Diese Eigenschaften ermöglichen es dem SCDH, die Anwendung nicht nur in partizipativen Workshops mit Laien, sondern auch in Projekten mit Architekt:innen, Planungsämtern und weiteren Fachdisziplinen einzusetzen.

### 7.3 Reflexion der Forschungsfragen

Die im Projekt formulierten Forschungsfragen lassen sich rückblickend wie folgt einordnen:

- **Forschungsfrage 1** (Systemgestaltung für kollaborative Planung): konnte klar beantwortet werden. Durch den Einsatz des IR-Stifts, die Echtzeitprojektion und die Möglichkeit der gleichzeitigen Nutzung durch mehrere Personen wurde eine effektive kollaborative Arbeitsweise ermöglicht. Sowohl die Usability-Tests als auch der Feldtest haben bestätigt, dass der Arbeitsfluss deutlich verbessert und Missverständnisse reduziert werden konnten.
- **Forschungsfrage 2** (intuitive Benutzeroberfläche für Laien): die Tests zeigen, dass die Stift-Metapher und das visuelle Feedback ohne zusätzliche Schulung verstanden werden. Die hohe durchschnittliche Bewertung von 78.33 Punkten im SUS unterstreicht, dass die Bedienung auch für Erstnutzende zugänglich und leicht verständlich ist. Beobachtungen bei den Tests zeigten, dass selbst Personen ohne technische Erfahrung nach kurzer Einweisung eigenständig arbeiten konnten.
- **Forschungsfrage 3** (Usability in realen Szenarien): der Feldtest mit dem Kunden hat gezeigt, dass die Lösung im praktischen Einsatz nicht nur angenommen, sondern aktiv als hilfreiches Werkzeug in Workshops wahrgenommen wird. Besonders die Fähigkeit, flexibel auf neue Anforderungen zu reagieren und Ergebnisse sofort zu visualisieren, wurde positiv hervorgehoben.

### 7.4 Grenzen der Lösung

Die Ergebnisse der Usability-Tests haben deutlich gemacht, dass für einen produktiven Einsatz zusätzliche Funktionen erforderlich sind und bestehende Funktionen in ihrer Umsetzung weiter optimiert werden sollten. Zwar unterstützt das System die Arbeit mit mehreren Stiften gleichzeitig, jedoch können diese aktuell nicht voneinander unterschieden werden. Dies bedeutet, dass alle Stifte dieselben Einstellungen verwenden.

Aus technischer Sicht ist das System zudem durch die Verwendung einer einzelnen Kamera limitiert. Für eine zuverlässiger Erkennung wäre der Einsatz von mindestens einer weiteren Kamera sinnvoll, um zu verhindern, dass die Handhaltung die Stiftspitze verdeckt und dadurch die Erfassung unterbrochen wird.

## 7.5 Offene Fragen und Ausblick

Einige offene Fragen konnten im Rahmen des Projekts nur teilweise beantwortet werden und bilden Ansatzpunkte für zukünftige Arbeiten. Dazu gehört insbesondere die Frage, wie sich die Usability bei mehreren aktiven Nutzer:innen gleichzeitig verhält. Hier könnte eine optimierte Eingabeverwaltung helfen, Überschneidungen und unbeabsichtigte Interaktionen zu minimieren.

Aus dem Feldtest gingen zudem konkrete Funktionswünsche hervor: Eine Undo/Redo-Funktion, ein integrierter Objektkatalog, erweiterte Exportmöglichkeiten (z. B. PDF-Export oder direkter Versand an Projektbeteiligte) sowie eine präzisere Kalibrierung wurden mehrfach genannt. Auch die Möglichkeit zur Unterstützung von Multi-Display-Setups und Remote-Zusammenarbeit könnte den Einsatzbereich erheblich erweitern, etwa für hybride Workshops oder parallele Planungssitzungen.

Darüber hinaus wäre die Integration zusätzlicher Visualisierungsmöglichkeiten wie farbliche Layer oder Objektschatten ein potenzieller Mehrwert, um komplexere Entwürfe übersichtlicher darzustellen. Langfristig könnte auch eine Cloud-Anbindung zur Speicherung und Nachverfolgung von Workshop-Ergebnissen sowie eine Tablet-basierte Steuerung zur Ergänzung der Projektion implementiert werden.

Diese Weiterentwicklungen würden nicht nur die Funktionalität und Flexibilität des Systems erhöhen, sondern auch seine Attraktivität für weitere Zielgruppen wie Architekturbüros, städtische Planungsämter oder technische Gewerke deutlich steigern.

## 8 Schlusswort

Im Rahmen dieses Projekts wurde eine interaktive Zeichenanwendung entwickelt, die es Laien ermöglicht, auf einer 1:1-Projektionsfläche funktionale Raumkonzepte kollaborativ zu entwerfen und direkt zu erleben. Die Lösung wurde bewusst benutzerzentriert konzipiert und in enger Abstimmung mit realen Anwendungsbedürfnissen, insbesondere im Kontext von partizipativen Architektur-Workshops am SCDH, umgesetzt.

Durch den Einsatz eines Infrarotstifts und einer kamerabasierten Erkennung konnte eine präzise, flexible und kostengünstige Eingabemethode realisiert werden. Die entwickelte Software überzeugte sowohl in den Usability-Tests, mit einem durchschnittlichen SUS-Wert von 78.33 Punkten deutlich über dem branchenüblichen Schwellenwert, als auch im Feldtest mit dem Kunden, der die Praxistauglichkeit unter realistischen Bedingungen bestätigte.

Auch wenn nicht alle Funktionen vollständig ausgereift oder umgesetzt wurden, wie etwa automatische Kalibrierung, Undo/Redo oder eine softwareseitige Mehrbenutzerverwaltung, zeigt das Ergebnis klar das Potenzial für den Praxiseinsatz. Die Forschungsfragen wurden weitgehend beantwortet und die Lösung bildet eine solide Grundlage für weiterführende Arbeiten, etwa zur Evaluation unter realen Bedingungen oder zur Integration zusätzlicher Funktionen wie Objektbibliotheken, erweiterten Exportoptionen oder KI-gestützter Planungshilfen.

Rückblickend war das Projekt nicht nur eine technische, sondern auch eine methodische und kommunikative Herausforderung, bei der technische Machbarkeit, Nutzerbedürfnisse und gestalterische Entscheidungen stets im Gleichgewicht gehalten werden mussten. Die enge Zusammenarbeit mit dem SCDH und die praxisnahe Einbettung ermöglichten es, eine Lösung zu schaffen, die bereits heute einen echten Mehrwert bietet. Mit den gewonnenen Erkenntnissen und den identifizierten Verbesserungsmöglichkeiten ist der Grundstein gelegt, um das System in zukünftigen Versionen zu einem noch leistungsfähigeren, flexibleren und vielseitigeren Werkzeug für die kollaborative Raumplanung auszubauen.

## Quellenverzeichnis

- Brooke, J. (1986). *SUS: A Quick and Dirty Usability Scale* (Techn. Ber. Nr. TR-38). Digital Equipment Corporation. Reading, UK.
- Burger, W., & Burge, M. J. (2006). *Digitale Bildverarbeitung : eine Einführung mit Java und ImageJ* (2. Auflage). Springer.
- Hartley, R., & Zisserman, A. (2004). *Multiple View Geometry in Computer Vision* (2. Auflage). Cambridge University Press.
- Hecht, E. (2023). *Optik* (8. Auflage). De Gruyter Oldenbourg.
- Installation des Pakets “GTK Wiimote Whiteboard”* [Zugriff auf Informationen zur Installation und Einrichtung]. (n.d.). IWR, Universität Heidelberg. Verfügbar 11. August 2025 unter [https://pille.iwr.uni-heidelberg.de/~whiteboard03/1\\_WB.html](https://pille.iwr.uni-heidelberg.de/~whiteboard03/1_WB.html)
- Lee, J. C. (2008). *Projects – Wiimote* [Hardware and software demonstrations using the Wiimote for interaction and tracking]. Verfügbar 12. August 2025 unter <http://johnnylee.net/projects/wii/>
- Lusee Hardware* [Produktinformationen zu Lusee Spark, Lusee Pop, und deren Lite-Versionen]. (n.d.). Lusee AG. Verfügbar 12. August 2025 unter <https://www.lusee.ch/hardware>
- Neues Wohnheim Humanitas Stiftung* [Abbildung zur Überprüfung der Barrierefreiheit und Ergonomie im Neubauprojekt der Humanitas Stiftung]. (n.d.). Swiss Center for Design und Health. Verfügbar 13. August 2025 unter <https://www.scdh.ch/de/outputs/neues-wohnheim-humanitas-stiftung>
- PointWrite™ PW03 Touch Module* [Produktübersicht des PointWrite PW03 Touch-Moduls zur Interaktivität mit BenQ-Projektoren]. (n.d.). BenQ Deutschland GmbH. Verfügbar 12. August 2025 unter <https://www.benq.eu/de-de/business/projector/pointwrite-pw03.html>
- Schmalstieg, D., & Höllerer, T. (2016). *Augmented Reality: Principles and Practice*. Addison-Wesley Professional.
- UIUXTrend. (2023). *Measuring System Usability Scale (SUS)* [Zugriff am 14. August 2025]. <https://uiuxtrend.com/measuring-system-usability-scale-sus/>

## Hilfsmittelverzeichnis

Hilfsmittel	Verwendungszweck	Scope
ChatGPT	Rechtschreibe- und Grammatikprüfung	Ganze Arbeit
Gemini	Rechtschreibe- und Grammatikprüfung	Ganze Arbeit
Overleaf	Erstellung, Bearbeitung und Kollaboration am LaTeX-Dokument	Ganze Arbeit

## Eigenständigkeitserklärung

Ich (wir) erkläre(n) hiermit, dass ich (wir) den vorliegenden Leistungsnachweis selber und selbstständig verfasst habe(n),

- dass ich (wir) sämtliche nicht von mir (uns) selber stammenden Textstellen und anderen Quellen wie Bilder etc. gemäss gängigen wissenschaftlichen Zitierregeln<sup>1</sup> korrekt zitiert und die verwendeten Quellen klar sichtbar ausgewiesen habe(n);
- dass ich (wir) in einer Fussnote oder einem Hilfsmittelverzeichnis alle verwendeten Hilfsmittel (KI-Assistenzsysteme wie Chatbots<sup>2</sup>, Übersetzungs<sup>3</sup> Paraphrasier<sup>4</sup> oder Programmierapplikationen<sup>5</sup>) deklariert und ihre Verwendung bei den entsprechenden Textstellen angegeben habe(n);
- dass ich (wir) sämtliche immateriellen Rechte an von mir (uns) allfällig verwendeten Materialien wie Bilder oder Grafiken erworben habe(n) oder dass diese Materialien von mir (uns) selbst erstellt wurde(n);
- dass das Thema, die Arbeit oder Teile davon nicht bei einem Leistungsnachweis eines anderen Moduls verwendet wurden, sofern dies nicht ausdrücklich mit der Dozentin oder dem Dozenten im Voraus vereinbart wurde und in der Arbeit ausgewiesen wird;
- dass ich mir (wir uns) bewusst bin (sind), dass meine (unsere) Arbeit auf Plagiate und auf Dritttautorschaft menschlichen oder technischen Ursprungs (Künstliche Intelligenz) überprüft werden kann;
- dass ich mir (wir uns) bewusst bin (sind), dass die Hochschule für Technik FHNW einen Verstoss gegen diese Eigenständigkeitserklärung bzw. die ihr zugrundeliegenden Studierendenpflichten der Studien- und Prüfungsordnung der Hochschule für Technik verfolgt und dass daraus disziplinarische Folgen (Verweis oder Ausschluss aus dem Studiengang) resultieren können.

Windisch, 14. August 2025

**Name:** Luc Hartmann

**Unterschrift:**

**Name:** Jasjot Singh

**Unterschrift:**

---

<sup>1</sup>z.B. APA oder IEEE

<sup>2</sup>z.B. ChatGPT

<sup>3</sup>z.B. DeepL

<sup>4</sup>z.B. Quillbot

<sup>5</sup>z.B. Github Copilot

## A Hardware-Informationen

Links zur verwendeten Hardware:

- Stift 1
- Stift 2
- Filterfolie Typ 11
- Intel Realsense D455

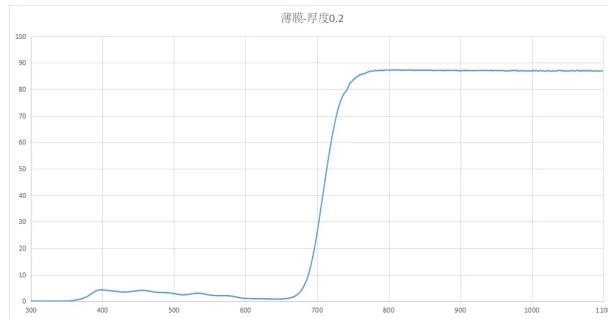


Abbildung A.1: Filterkurve der Typ-11-Folie (X-Achse: Wellenlänge, Y-Achse: Dämpfung in %)

## B Anleitung

Dieser Abschnitt beschreibt die Funktion sämtlicher Buttons.

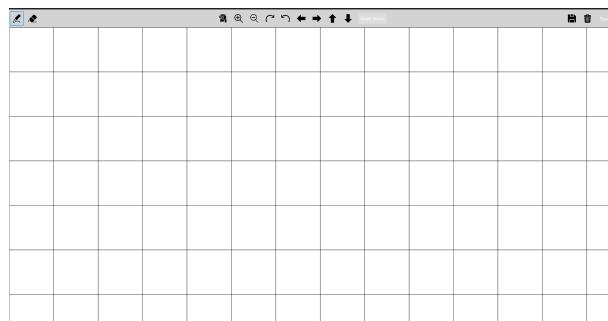


Abbildung B.1: Hauptansicht

Grundsätzlich sind die Funktionen wie folgt angeordnet: Links oben befinden sich die Werkzeuge, welche die Zeichenfunktionalität betreffen. In der Mitte sind alle Funktionen zur Steuerung der PDF-Lade- und -Anzeigeeoptionen platziert. Rechts oben befinden sich die Buttons zum Löschen, Speichern sowie das Menü für Setup-Funktionen.

## B.1 Stiftfunktionen

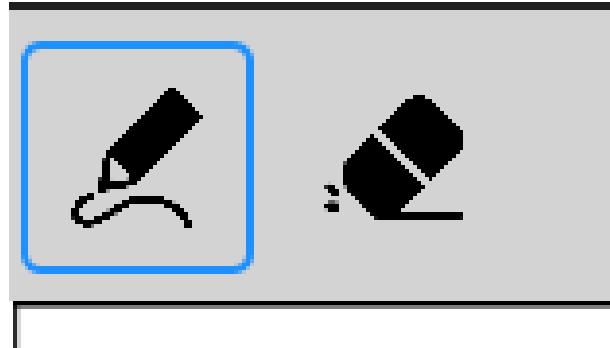


Abbildung B.2: Stiftfunktionen

Die Stiftfunktionen umfassen das Zeichnen sowie das Löschen an der Position des Stiftes. Der aktuell aktive Modus wird durch einen blauen Rahmen angezeigt. Das linke Symbol steht für den Schreibmodus mit dem Stift, während das rechte Symbol den Löschmodus aktiviert. Beim Anklicken des aktiven Symbols können verschiedene Optionen angepasst werden: die Strichdicke, die Radiergummigröße sowie im Zeichenmodus zusätzlich die Stiftfarbe.

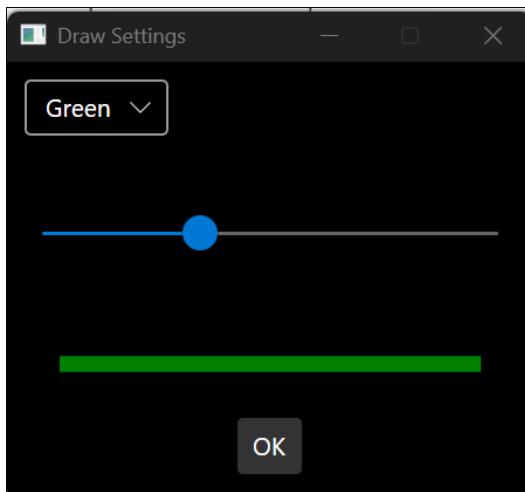


Abbildung  
Einstellungen

B.3: Zeichenmodus-

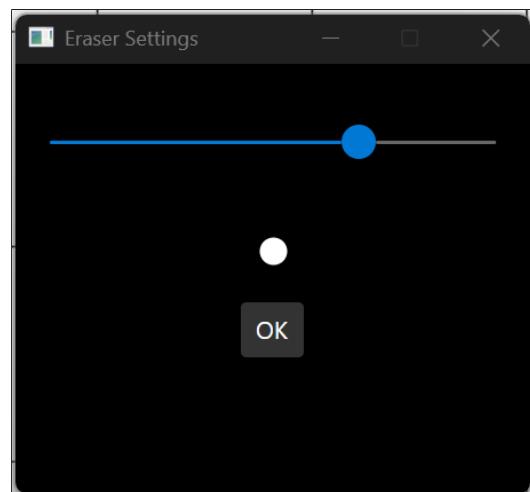


Abbildung B.4: Radiermodus-Einstellungen

## B.2 PDF-Lade- und Anzeigeoptionen



**Abbildung B.5:** Bedienelemente für PDF-Lade- und Anzeigeoptionen

Die Buttons der PDF-Optionen haben – von links nach rechts – folgende Funktionen:

- Öffnet den systemeigenen Dateiauswahl dialog (Filepicker) und erlaubt die Auswahl eines PDF-Dokuments, das in der Zeichenfläche angezeigt werden soll.
- *Zoom In:* Vergrößert den Inhalt der Zeichenfläche an der aktuellen Position.
- *Zoom Out:* Verkleinert den Inhalt der Zeichenfläche an der aktuellen Position.
- Dreht den Inhalt der Zeichenfläche um 90° im Uhrzeigersinn.
- Dreht den Inhalt der Zeichenfläche um 90° gegen den Uhrzeigersinn.
- Bei aktivem Zoom: Verschiebt den Inhalt der Zeichenfläche nach links.
- Bei aktivem Zoom: Verschiebt den Inhalt der Zeichenfläche nach rechts.
- Bei aktivem Zoom: Verschiebt den Inhalt der Zeichenfläche nach oben.
- Bei aktivem Zoom: Verschiebt den Inhalt der Zeichenfläche nach unten.
- Setzt den Zoomfaktor sofort auf den Standardwert (0) zurück.

## C Löschen, Speichern und Setup-Funktionen



**Abbildung C.1:** Bedienelemente für Speichern, Löschen und Setup

Der Button auf der linken Seite öffnet den Datei-Explorer des Betriebssystems und erlaubt das Abspeichern des Inhalts der Zeichenfläche auf dem System. Der zweite Button von links löscht den gesamten Inhalt der Zeichenfläche und setzt diese auf den Zustand mit den Standardgitterlinien zurück. Der *Tools*-Button öffnet ein Menü mit allen Funktionen rund um das Setup.

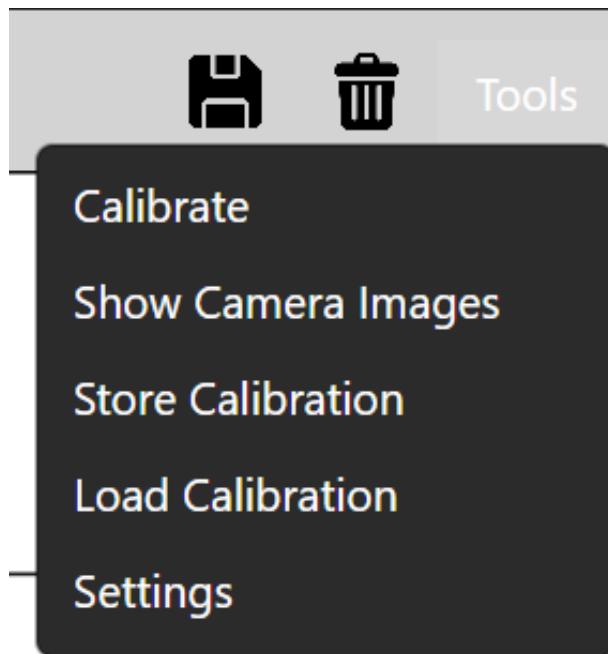


Abbildung C.2: Tools-Menü

Das Tools-Menü enthält folgende Funktionen:

- **Calibrate:** Öffnet das Kalibrationsfenster, in dem nacheinander fünf rote Punkte mit dem Infrarotstift berührt werden müssen, um die Zeichenfläche zu kalibrieren.

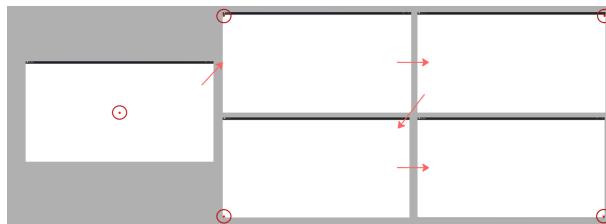


Abbildung C.3: Ablauf der Kalibration

- **Show Camera Images:** Schaltet die Sichtbarkeit eines separaten Fensters um, in dem die Bilder der RGB- und Infrarotkamera sowie das Resultat der Binarisierung angezeigt werden.
- **Store Calibration:** Speichert die aktuelle Kalibration und die vorgenommenen Einstellungen.
- **Load Calibration:** Lädt die zuletzt gespeicherte Kalibration und Einstellungen.
- **Settings:** Öffnet das Einstellungsmenü.

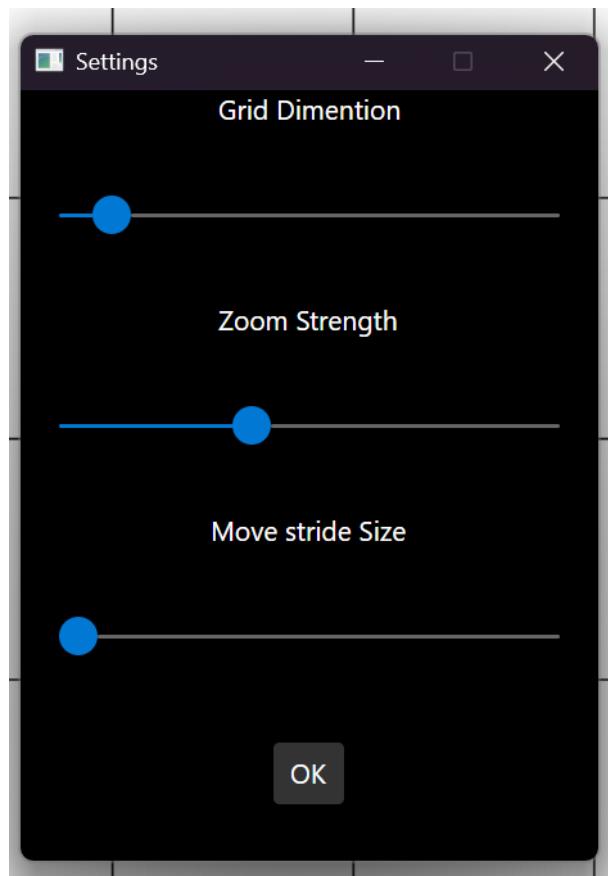


Abbildung C.4: Einstellungsfenster

Im Einstellungsmenü sind folgende Optionen verfügbar:

- **Grid Dimension:** Legt die Grösse des Gitternetzes fest.
- **Zoom Strength:** Bestimmt, wie stark bei einem Klick hinein- oder herausgezoomt wird.
- **Move Stride Size:** Legt fest, um welchen Betrag der Inhalt der Zeichenfläche pro Klick verschoben wird.

## D Interviewauswertung mit dem Kunden – Feldtest

Im Anschluss an den Feldtest wurde ein qualitatives Interview mit einem Vertreter des SCDH durchgeführt. Ziel war es, die Perspektive der Auftraggeberseite hinsichtlich Integration, Nutzen und möglicher Weiterentwicklungen des Systems zu erfassen.

### D.1 Integration in bestehende Workshop-Formate

**Frage:** Wie gut lässt sich das aktuelle System in Ihre bestehenden Workshop-Formate integrieren?

**Antwort:**

- Das System bewegt sich technisch in die richtige Richtung.
- Die Integration mit bestehenden PDF-Workflows funktioniert bereits gut.
- Details zum Workshop-Ablauf müssen noch abgestimmt werden.
- Insgesamt zeigt sich ein vielversprechendes Potenzial mit klar reaktiver Nutzung im Vergleich zu bestehenden Methoden.

### D.2 Grösster Nutzen für den Arbeitsalltag

**Frage:** Wo sehen Sie den grössten Nutzen dieses Systems für Ihre tägliche Arbeit?

**Antwort:**

- Möglichkeit, Änderungen am Plan reaktiv vorzunehmen – grosser Gewinn.
- Arbeit mit einer leeren Zeichenfläche (vergleichbar mit weissem Papier) ermöglicht kreative Freiheit.

### D.3 Potenzial für andere Zielgruppen

**Frage:** Welche Anwendungsfälle oder Zielgruppen könnten von einer Weiterentwicklung profitieren?

**Antwort:**

- Architekt:innen, da viele Kommunikationsschleifen (E-Mails, Telefonate) wegfallen.
- Stadtverwaltung (z.B. Planung öffentlicher Räume, Parkplätze).
- Brainstorming-Tool oder technische Planungen (z.B. Elektriker:innen, Techniker:innen).

### D.4 Voraussetzungen für produktiven Einsatz

**Frage:** Welche Voraussetzungen müsste das System erfüllen, um produktiv eingesetzt werden zu können?

**Antwort:**

- Unterstützung mehrerer Displays und Spiegelfunktion.
- Zuverlässige und exakte Kalibrierung (1:1).
- Durchdachtes Setup (Installationsort, Abläufe).
- Aktuelle Funktionen sind bereits brauchbar für Workshops.
- Einsatz von zwei IR-Kameras könnte Vorteile bringen.
- Import von Plänen ist essenziell und funktioniert gut.

## D.5 Gewünschte Funktionen und Erweiterungen

**Frage:** Welche Funktionen oder Erweiterungen wünschen Sie sich für eine zukünftige Version?

**Antwort:**

- QR-Codes zur Visualisierung von Objekten (z.B. Bett, Stuhl).
- Objektkatalog zur schnellen Auswahl und Platzierung.
- Möglichkeit zur Remote-Zusammenarbeit.
- Reset-Buttons für 0% und 100%-Zoom.
- Undo-/Redo-Funktion.
- Kommentarfunktion via Post-its oder Textfelder.

## D.6 Herausforderungen bei der Einführung

**Frage:** Welche Herausforderungen sehen Sie bei der Einführung eines solchen Systems in der Praxis?

**Antwort:**

- Hardwarebeschaffung (Stift, Projektor etc.).
- Planung des Setups: Wo und wie wird aufgebaut?
- Integration in bestehende Softwareumgebungen könnte komplex werden.

## D.7 Weitere Rückmeldungen

**Frage:** Gibt es sonstige Rückmeldungen oder Verbesserungsvorschläge, die Sie uns mitgeben möchten?

**Antwort:**

- Keine weiteren Vorschläge.
- Positives Feedback: Die Mitwirkung des Projektteams wurde sehr geschätzt.

## E Testaufbau und Szenario

Die Usability-Tests wurden anhand des Szenarios *Hospital Planning* durchgeführt. Die Testpersonen sollten in einem simulierten Planungsmeeting die Position eines Tisches in **BEDROOM3** vorschlagen, Änderungen nach Feedback der Architekt:in umsetzen und abschliessend den Plan speichern.

### Aufgabenabfolge:

1. Zwei Minuten freies Zeichnen
2. Zeichnung komplett löschen
3. PDF mit Grundriss (*Hospital\_Floor\_Plan.pdf*) hochladen
4. Stiftfarbe auf Rot ändern
5. Tisch links vom Bett in BEDROOM3 einzeichnen
6. Nach Feedback: Tisch löschen und rechts vom Bett platzieren
7. Tischmasse 1 m × 1 m skizzieren und Beschriftung „table“ in den Tisch einfügen(nicht massstabsgerecht erforderlich)
8. Plan lokal speichern

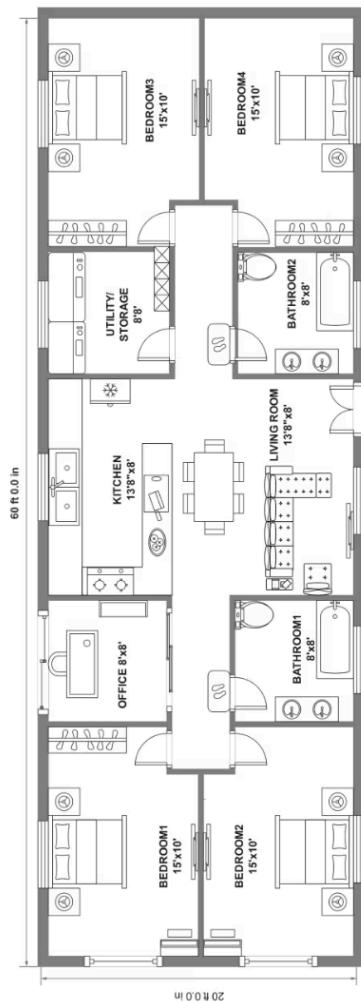


Abbildung E.1: Verwendeter Grundrissplan *Hospital\_Floor\_Plan.pdf*

**SUS-Fragebogen:** Nach Abschluss der Aufgaben wurde jeder Testperson der standardisierte *System Usability Scale* (SUS) Fragebogen vorgelegt.

	Strongly Disagree	Somewhat Disagree	Neutral	Somewhat Agree	Strongly Agree
1. I think I would like to use this tool frequently.	<input type="checkbox"/>				
2. I found the tool unnecessarily complex.	<input type="checkbox"/>				
3. I thought the tool was easy to use.	<input type="checkbox"/>				
4. I think that I would need the support of a technical person to be able to use this system.	<input type="checkbox"/>				
5. I found the various functions in this tool were well integrated.	<input type="checkbox"/>				
6. I thought there was too much inconsistency in this tool.	<input type="checkbox"/>				
7. I would imagine that most people would learn to use this tool very quickly.	<input type="checkbox"/>				
8. I found the tool very cumbersome to use.	<input type="checkbox"/>				
9. I felt very confident using the tool.	<input type="checkbox"/>				
10. I needed to learn a lot of things before I could get going with this tool.	<input type="checkbox"/>				

**Abbildung E.2:** Leerer SUS-Fragebogen (10 Aussagen, 5-stufige Skala von „Strongly Disagree“ bis „Strongly Agree“)

**Follow-up-Fragen:** Nach der SUS-Bewertung wurden zusätzlich folgende offenen Fragen gestellt:

1. Was hat Ihnen am Tool am besten gefallen?
2. Gab es etwas, das verwirrend oder schwierig zu bedienen war?
3. Fehlt etwas, das Sie erwartet oder gerne gehabt hätten?
4. Haben Sie Vorschläge, wie das Tool verbessert werden könnte?

## F Testergebnisse

### F.1 Person 1 – SUS 67,5

#### Zur Person:

ICompetence-Student, 27 Jahre alt

#### Beobachtung:

1. Zeichnen Sie frei für etwa 2 Minuten.
  - Nutzer wollte den «Rotate»-Button verwenden, um eine Aktion rückgängig zu machen.
  - Handhabung des Stifts wurde als gewöhnungsbedürftig empfunden.
  - Erkenntnis, dass die Kamera nicht zuverlässig erfasst, wenn die Hand den Stift verdeckt.
  - Bessere Erkennung, wenn der Stift weiter hinten gehalten wird – jedoch ungewohnt.
  - Positives Feedback: «Fühlt sich wie ein Stift an, wenn es funktioniert.»
  - Unsicherheit, wie vorzugehen ist, wenn Striche nicht korrekt erkannt werden.
  - Wunsch nach einem dünneren, spitzeren Stift für präziseres Zeichnen.
2. Löschen Sie Ihre Zeichnung vollständig.
  - «Rotation»-Button wurde mit «Rückgängig»-Button verwechselt.
3. Laden Sie die PDF-Datei mit dem Grundriss Hospital\_Floor\_Plan.pdf hoch.
  - Versuch, Text einzugeben anstatt eine Datei auszuwählen.
  - PDF-Icon mit Pfeil nach aussen wurde als «Exportieren»-Symbol interpretiert.
4. Ändern Sie die Stiftfarbe auf Rot.
  - Unklar, wo die Funktion zu finden ist.
  - Slider zur Farbauswahl wurde bewegt, jedoch mit Problemen.
5. Suchen Sie BEDROOM3 und zeichnen Sie einen Tisch links vom Bett.
  - Architekt gab an, dass diese Position nicht möglich ist.
6. Radieren Sie den Tisch und zeichnen Sie ihn rechts vom Bett.
  - Unsicherheit, ob der Radiergummi-Modus aktiviert war.
7. Zeichnen Sie die Abmessungen 1 m × 1 m und schreiben Sie «table» hinein.
  - Zoom wird als nicht optimal beschrieben, vermutlich nicht genutzt.
  - Verschiebung (Pan) nur in kleinen und langsamen Schritten möglich.
  - Versuch, durch Gedrückthalten zu verschieben.
8. Speichern Sie den Plan auf Ihrem Laptop.
  - Kein Dateiname angegeben, daher Standardname verwendet.
  - Speichervorgang ohne Rückmeldung – Bestätigung (z. B. Balken mit «Saved» oder Ordner-Öffnen-Option) wäre wünschenswert.

**SUS-Antworten:**

	Strongly Disagree	Somewhat Disagree	Neutral	Somewhat Agree	Strongly Agree
1. I think I would like to use this tool frequently.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
2. I found the tool unnecessarily complex.	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
3. I thought the tool was easy to use.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
4. I think that I would need the support of a technical person to be able to use this system.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
5. I found the various functions in this tool were well integrated.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
6. I thought there was too much inconsistency in this tool.	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
7. I would imagine that most people would learn to use this tool very quickly.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
8. I found the tool very cumbersome to use.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
9. I felt very confident using the tool.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
10. I needed to learn a lot of things before I could get going with this tool.	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

**Follow-up:**

1. Was hat Ihnen am Tool am besten gefallen?
  - Möglichkeit, PDF-Dateien hochzuladen und zu bearbeiten.
  - Farb- und Stiftdickenänderung möglich.
  - Speichern der Arbeit.
2. Gab es etwas, das verwirrend oder schwierig zu bedienen war?
  - Verständnis der Zeichenfunktion.
3. Fehlt etwas, das Sie erwartet oder gerne gehabt hätten?
  - Undo-Button.
  - Speichern mit klarer Bestätigung, dass die Datei gesichert wurde.
  - PDF-Icon nicht eindeutig.
4. Haben Sie Vorschläge, wie das Tool verbessert werden könnte?
  - Anpassung der Kameraposition für besseres Zeichnen.
  - Blaue Farbe wirkt wie Schwarz.
  - Beim Verschieben des Plans wird auch die Zeichnung verschoben.
  - Zusätzlicher Button für schnellen Farbwechsel.

## F.2 Person 2 – SUS SUS 85,0

### Zur Person:

Architektin, 62 Jahre alt

### Beobachtung:

1. Zeichnen Sie frei für etwa 2 Minuten.
  - Nach dem Ansetzen des Stifts dauerte es einen kurzen Moment, bis das System reagierte, wodurch der Punkt nicht exakt dort erschien, wo sich die Stiftspitze befand.
  - Geschwindigkeit beeinträchtigte die Genauigkeit.
  - Insgesamt gutes Feedback, insbesondere wenn dem System etwas Zeit gegeben wird.
2. Löschen Sie Ihre Zeichnung vollständig.
  - Keine Probleme.
3. Laden Sie die PDF-Datei mit dem Grundriss Hospital\_Floor\_Plan.pdf hoch.
  - Kein Problem beim Hochladen.
  - Kommentar: Bedienung erfordert CAD-Erfahrung. Der verwendete Button war das einzige Symbol, das selbsterklärend wirkte.
  - Nicht selbstverständlich für unerfahrene Nutzer:innen.
  - Nachfrage der Testperson: «Kann ich jetzt Wände verschieben?»
4. Ändern Sie die Stiftfarbe auf Rot.
  - Kommentar: «Gut kann ich Englisch.»
5. Suchen Sie BEDROOM3 und zeichnen Sie einen Tisch links vom Bett.
  - Keine Probleme.
6. Radieren Sie den Tisch und zeichnen Sie ihn rechts vom Bett.
  - Reaktion: Am falschen Ort schreiben funktioniert nicht.
7. Zeichnen Sie die Abmessungen 1 m × 1 m und schreiben Sie «table» hinein.
  - Keine Probleme.
8. Speichern Sie den Plan auf Ihrem Laptop.
  - Keine Probleme.

**SUS-Antworten (Bild):**

	Strongly Disagree	Somewhat Disagree	Neutral	Somewhat Agree	Strongly Agree
1. I think I would like to use this tool frequently.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
2. I found the tool unnecessarily complex.	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
3. I thought the tool was easy to use.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
4. I think that I would need the support of a technical person to be able to use this system.	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
5. I found the various functions in this tool were well integrated.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
6. I thought there was too much inconsistency in this tool.	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
7. I would imagine that most people would learn to use this tool very quickly.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
8. I found the tool very cumbersome to use.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
9. I felt very confident using the tool.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
10. I needed to learn a lot of things before I could get going with this tool.	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

**Follow-up:**

1. Was hat Ihnen am Tool am besten gefallen?
  - Einfaches Umschalten zwischen Funktionen.
  - Radiergummi funktioniert gut; Wunsch: einzelne Striche gezielt löschen können.
2. Gab es etwas, das verwirrend oder schwierig zu bedienen war?
  - Nein.
  - Kommentar: Funktion zum einfachen Wechseln zwischen Plänen und Dokumenten wurde nicht ausprobiert; als Architekt wäre dies wünschenswert.
3. Fehlt etwas, das Sie erwartet oder gerne gehabt hätten?
  - Nein.
4. Haben Sie Vorschläge, wie das Tool verbessert werden könnte?
  - Verschiedene Pläne überlagern.
  - Wechsel zwischen Plänen ohne vorheriges Speichern ermöglichen.

### F.3 Person 3 – SUS 85,0

#### Zur Person:

Medizin-Student, 24 Jahre alt

#### Beobachtung:

1. Zeichnen Sie frei für etwa 2 Minuten.
  - Präzision meist sehr gut; kleinere Probleme beim Setup mit Doppel-Erkennung.
  - Leichter Delay, aber nicht gravierend.
  - Schrift problemlos.
2. Löschen Sie Ihre Zeichnung vollständig.
  - Alles löschen problemlos; selbsterklärend.
3. Laden Sie die PDF-Datei mit dem Grundriss Hospital\_Floor\_Plan.pdf hoch.
  - Alles problemlos.
4. Ändern Sie die Stiftfarbe auf Rot.
  - Funktion bereits beim freien Zeichnen allerdings nicht absichtlich; Änderung eventuell Drop-down-Indikator wünschenswert.
5. Suchen Sie BEDROOM3 und zeichnen Sie einen Tisch links vom Bett.
  - Funktion ausgeführt; kleinere Probleme wegen Bugs in den PDF-Controls.
6. Radieren Sie den Tisch und zeichnen Sie ihn rechts vom Bett.
  - Gewohnt von iPad: PDF-Linie, Radiergummi und Smart-Eraser Funktion.
  - Sonst alles ok.
7. Zeichnen Sie die Abmessungen 1 m × 1 m und schreiben Sie «table» hinein.
  - Keine Probleme.
8. Speichern Sie den Plan auf Ihrem Laptop.
  - Keine Probleme.

**SUS-Antworten (Bild):**

	Strongly Disagree	Somewhat Disagree	Neutral	Somewhat Agree	Strongly Agree
1. I think I would like to use this tool frequently.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
2. I found the tool unnecessarily complex.	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
3. I thought the tool was easy to use.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
4. I think that I would need the support of a technical person to be able to use this system.	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
5. I found the various functions in this tool were well integrated.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
6. I thought there was too much inconsistency in this tool.	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
7. I would imagine that most people would learn to use this tool very quickly.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
8. I found the tool very cumbersome to use.	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
9. I felt very confident using the tool.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
10. I needed to learn a lot of things before I could get going with this tool.	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

**Follow-up:**

1. **Was hat Ihnen am Tool am besten gefallen?**
  - Freiheit, auf beliebiger Fläche zu zeichnen und damit verbundene Flexibilität.
2. **Gab es etwas, das verwirrend oder schwierig zu bedienen war?**
  - Tracking-Fehler (Zacken-Bug).
  - PDF-Controls teilweise verwirrend.
  - Reset-Button löscht PDF-Elemente mit.
3. **Fehlt etwas, das Sie erwartet oder gerne gehabt hätten?**
  - Rückgängig-Funktion (Undo).
  - Wiederherstellen-Funktion.
  - Lasso-Löschen, Duplizieren und Verschieben von Elementen.
  - Touch-Input-Unterstützung.
4. **Haben Sie Vorschläge, wie das Tool verbessert werden könnte?**
  - Bessere Projektion der Unterlagen.
  - Details besser lesbar machen (bedingt durch Setup).
  - Fehlende Funktionen, die erwartet werden, implementieren (z.B. Undo, Lasso, Duplizieren).

#### F.4 Person 4 – SUS 70

**Zur Person:**

Medizin-Studentin, 24 Jahre alt

**Beobachtung:**

1. Zeichnen Sie frei für etwa 2 Minuten.
  - Pen-Einstellungen nicht klar.
  - PDF-Control-Icons nicht intuitiv.
  - Undo-Button fehlt.
2. Löschen Sie Ihre Zeichnung vollständig.
  - Kein intuitiver Button vorhanden.
3. Laden Sie die PDF-Datei mit dem Grundriss hoch.
  - Keine Probleme.
4. Ändern Sie die Stiftfarbe auf Rot.
  - Klar nach Aufgabenstellung, keine Probleme.
5. Suchen Sie BEDROOM3 und zeichnen Sie einen Tisch links vom Bett.
  - Keine Probleme.
6. Radieren Sie den Tisch und zeichnen Sie ihn rechts vom Bett.
  - Am Anfang Zickzack-Bug, danach keine Probleme.
7. Zeichnen Sie die Abmessungen  $1\text{ m} \times 1\text{ m}$  und schreiben Sie «table» hinein.
  - Keine Probleme.
8. Speichern Sie den Plan auf Ihrem Laptop.
  - Keine Probleme.

**SUS-Antworten (Bild):**

	Strongly Disagree	Somewhat Disagree	Neutral	Somewhat Agree	Strongly Agree
1. I think I would like to use this tool frequently.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
2. I found the tool unnecessarily complex.	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
3. I thought the tool was easy to use.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
4. I think that I would need the support of a technical person to be able to use this system.	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
5. I found the various functions in this tool were well integrated.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
6. I thought there was too much inconsistency in this tool.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
7. I would imagine that most people would learn to use this tool very quickly.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
8. I found the tool very cumbersome to use.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
9. I felt very confident using the tool.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
10. I needed to learn a lot of things before I could get going with this tool.	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

**Follow-up:**

1. Was hat Ihnen am Tool am besten gefallen?
  - Dateihandling einfach zu bedienen, ohne viel Klicken.
2. Gab es etwas, das verwirrend oder schwierig zu bedienen war?
  - Zickzack-Bug beim Zeichnen.
  - Undo-Button fehlt.
3. Fehlt etwas, das Sie erwartet oder gerne gehabt hätten?
  - Undo-Button.
  - Finger-Touch-Support.
  - Drei Modi, um das Dokument zu verschieben; aktuelle Buttons umständlich.
4. Haben Sie Vorschläge, wie das Tool verbessert werden könnte?
  - „Premium Feature“: automatische Formgenerierung (z.B. Quadrat 1 m x 1 m in Fläche ziehen).
  - Verschieben von Zeichnungen.
  - Hintergrund sollte nicht mit Radiert werden – aktuell unintuitiv.

## F.5 Person 5 – SUS 87.5

### Zur Person:

IT-Projektmanager, 59 Jahre alt

### Beobachtung:

1. Zeichnen Sie frei für etwa 2 Minuten.
  - Suchte vordefinierte Formen.
  - Frage: Wiso gummelt es den Hintergrund?.
  - Bug: Stift-Menü geöffnet → keine direkte Anpassung möglich; Stift erscheint immer zuerst blau.
2. Löschen Sie Ihre Zeichnung vollständig.
  - Kein Problem.
3. Laden Sie die PDF-Datei mit dem Grundriss hoch.
  - Nur ein Button vorhanden, unklar, ob für Öffnen oder Exportieren.
4. Ändern Sie die Stiftfarbe auf Rot.
  - Kein Problem, bereits vorher herausgefunden.
  - Leichte Offsets beim Zeichnen.
5. Suchen Sie BEDROOM3 und zeichnen Sie einen Tisch links vom Bett.
  - Kein Problem.
6. Radieren Sie den Tisch und zeichnen Sie ihn rechts vom Bett.
  - Verschiebe-Offset-Problem; Zoom nötig.
  - Selektion- und Verschiebe-Tool wäre hilfreich.
  - Wunsch nach Form-Katalog (Tische, Stühle etc.).
7. Zeichnen Sie die Abmessungen  $1\text{ m} \times 1\text{ m}$  und schreiben Sie «table» hinein.
  - Schreiben auf Tisch: Schriftgrösse nicht optimal, zu klein + Offset beim genauen Einzeichnen.
8. Speichern Sie den Plan auf Ihrem Laptop.
  - Kein Problem.

**SUS-Antworten (Bild):**

	Strongly Disagree	Somewhat Disagree	Neutral	Somewhat Agree	Strongly Agree
1. I think I would like to use this tool frequently.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
2. I found the tool unnecessarily complex.	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
3. I thought the tool was easy to use.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
4. I think that I would need the support of a technical person to be able to use this system.	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
5. I found the various functions in this tool were well integrated.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
6. I thought there was too much inconsistency in this tool.	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
7. I would imagine that most people would learn to use this tool very quickly.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
8. I found the tool very cumbersome to use.	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
9. I felt very confident using the tool.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
10. I needed to learn a lot of things before I could get going with this tool.	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

**Follow-up:**

1. **Was hat Ihnen am Tool am besten gefallen?**
  - Grosse Stifte auf dem Tisch nutzen, Möglichkeit für Team-Planungsdiskussionen.
2. **Gab es etwas, das verwirrend oder schwierig zu bedienen war?**
  - Offsets beim Zeichnen (vor allem beim Zoomen).
  - Hintergrund „gümmelet“ → suboptimal zum Arbeiten.
3. **Fehlt etwas, das Sie erwartet oder gerne gehabt hätten? / Verbesserungsvorschläge**
  - Form-Katalog (Stühle, Tische, etc.)
  - Bereiche/Objekte verschieben und kopieren
  - Druckfunktion vom oberen Button integrieren
  - Mit einem grösseren Tisch sollte das Präzisionsproblem weniger auffallen

## F.6 Person 6 – SUS 85

### Zur Person:

Logistikmitarbeiterin, 65 Jahre alt

### Beobachtung:

1. Zeichnen Sie frei für etwa 2 Minuten.
  - Kein Problem.
2. Löschen Sie Ihre Zeichnung vollständig.
  - Rotieren als Undo verwechselt.
  - Trash-Icon nicht gesehen.
3. Laden Sie die PDF-Datei mit dem Grundriss hoch.
  - Zuerst in Windows-Taskleiste geschaut.
  - Danach klar und kein Problem.
4. Ändern Sie die Stiftfarbe auf Rot.
  - Hat Radiergummi ausgewählt, da gedacht, Stift würde Schrift öffnen.
5. Suchen Sie BEDROOM3 und zeichnen Sie einen Tisch links vom Bett.
  - Sucht nach einem Symbol, um Tisch einzufügen.
  - Nach kleiner Anweisung kein Problem.
6. Radieren Sie den Tisch und zeichnen Sie ihn rechts vom Bett.
  - Findet es nicht schön, dass Hintergrund „mitgegummelt“ wird.
  - Sehr kleiner Tisch gezeichnet, Problem beim genauen Beschriften.
7. Zeichnen Sie die Abmessungen  $1\text{ m} \times 1\text{ m}$  und schreiben Sie «table» hinein.
  - Schreiben bei Aufgabe 1 ging bereits gut.
  - Kein Problem.
8. Speichern Sie den Plan auf Ihrem Laptop.
  - Kein Problem.

**SUS-Antworten (Bild):**

	Strongly Disagree	Somewhat Disagree	Neutral	Somewhat Agree	Strongly Agree
1. I think I would like to use this tool frequently.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
2. I found the tool unnecessarily complex.	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
3. I thought the tool was easy to use.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
4. I think that I would need the support of a technical person to be able to use this system.	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
5. I found the various functions in this tool were well integrated.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
6. I thought there was too much inconsistency in this tool.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
7. I would imagine that most people would learn to use this tool very quickly.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
8. I found the tool very cumbersome to use.	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
9. I felt very confident using the tool.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
10. I needed to learn a lot of things before I could get going with this tool.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

**Follow-up:**

1. Was hat Ihnen am Tool am besten gefallen?
  - Möglichkeit kreativ zu sein.
2. Gab es etwas, das verwirrend oder schwierig zu bedienen war?
  - Kurz verwirrt/irritiert, weil Wand „mitgegummelt“ wurde.
3. Fehlt etwas, das Sie erwartet oder gerne gehabt hätten? / Verbesserungsvorschläge
  - Bessere Stiftspitze (spitzer).
  - Anmerkung: Beamer-Qualität beachten.
  - Hintergrund nicht mit „gummeln“, abhängig von Ausgangslage.
  - Feinerer Stiftkopf beim weissen Stift besser als beim schwarzen.
  - Sichtbarkeit der Taskleiste verwirrend (dachte, etwas aus Windows File Explorer holen zu müssen).
  - Gitternetz am Anfang unklar, ob man daran gebunden ist oder darüber hinaus malen kann.
  - Bei weiteren Tests am Anfang mehr Einweisung geben, damit Personen besseres Gefühl haben.