

Projekt

INSPIRER

(PartizipatioN in StadtPlanungsprozessen In viRtuEllen und Realen Räumen)

Arbeitspaket 3 „User Interface“

V/AR-User Interface Design: Empfehlungen

Vorgelegt durch:

Virtual Dimension Center (VDC) Fellbach

Stand: v03. 08.10.2021



Förderhinweis:

Das Projekt wird vom Bundesministerium für Bildung und Forschung unter dem Förderkennzeichen 16SV8746 gefördert.



Inhaltsverzeichnis

1.	Einführung	6
1.1	Motivation.....	6
1.2	Vorgehensweise.....	6
2.	VR-Interaktionsmodi: Hardware-Betrachtungen	7
2.1	Haptische Bedienung	7
2.1.1	Räumliche Vorgabe.....	7
2.1.2	Kraftsensoren	13
2.1.3	Gestik, Motion Capturing (MoCap), sonstiges Tracking	14
2.1.4	Tastatur, Schalter, Gamepad, Touchpad	15
2.2	Lageänderung – Head Tracking.....	16
2.3	Computer-Supported Cooperative Work (CSCW).....	17
3.	AR-Interaktionsmodi: Hardware-Betrachtungen	18
3.1	Haptische Bedienung	18
3.1.1	Gestik, Motion Capturing (MoCap).....	18
3.1.2	Händische Gerätebedienung	21
3.1.3	Interaktion mit der Realumgebung	25
3.2	Spracheingabe.....	27
3.3	Eye Tracking	28
3.4	Lageänderung	28
3.5	Computer-Supported Cooperative Work	29
4.	Empfehlungen für das User Interface Design für VR und für AR.....	30
4.1	Relevante Normen, Standards, Richtlinien.....	30
4.2	V/AR-übergreifende Empfehlungen, interaktive Systeme unspezifiziert	34
4.3	Empfehlungen für gute VR-Usability.....	35
4.4	Empfehlungen für gute AR Usability.....	47
4.4.1	Usability-Guidelines für Smartphone-/Tablet-PC-basierte AR	50
4.4.2	Usability-Guidelines für Smart-Glass-basierte AR	51
5.	Menüs im V/AR-Kontext	53
6.	Abkürzungen.....	54
7.	Literatur und Verweise	56
8.	Impressum	60

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1:	Gliederung der Interaktionsmöglichkeiten mit Virtual-Reality-Systemen	7
Abbildung 2:	Polhemus Stylus.....	8
Abbildung 3:	Oculus Touch	8
Abbildung 4:	Geomagic Touch	9
Abbildung 5:	Haption Virtuose.....	9
Abbildung 6:	Haption Inca6D	9
Abbildung 7:	Dexta Robotics Dexmo Exoskeleton	10
Abbildung 8:	Novint XIO.....	10
Abbildung 9:	3D-Druck mit Aufprojektion und eingebauten Touch-Sensoren.....	11
Abbildung 10:	Logitech G27	11
Abbildung 11:	Thrustmaster Warthog HOTAS-System	11
Abbildung 12:	Fraunhofer IPA Fabrikplanungstisch.....	12
Abbildung 13:	3DConnexion SpaceMouse	13
Abbildung 14:	3DConnexion SpaceTraveller	13
Abbildung 15:	3DConnexion Spaceball	13
Abbildung 16:	Google Leap Motion	14
Abbildung 17:	Thalmic Labs Myo Armband	14
Abbildung 18:	Xsens Xsens MTI-Series/ Xsens MVN.....	14
Abbildung 19:	Bedienelemente an der Samsung GearVR: 2D-Touchpad, Home Key, Bak Key, Hoch- und Runter-Taste [71]	15
Abbildung 20:	Logitech F710.....	15
Abbildung 21:	Tastatur für den Unterarm [72].....	15
Abbildung 22:	Die Fausttastatur Twiddler [73].....	15
Abbildung 23:	Head Tracking für Projektions-basierte Virtual Reality	16
Abbildung 24:	Head Tracking für Headset-basierte Virtual Reality	16
Abbildung 25:	Gliederung der Interaktionsmöglichkeiten mit Augmented-Reality-Systemen	18
Abbildung 26:	AR-unterstützte Schuhanprobe [42].....	18
Abbildung 27:	AR-unterstützte Kleidungsanprobe [65].....	19
Abbildung 28:	Kontrolle über die Blickrichtung (gaze control). Der Bildmittelpunkt ist der kleine weiße Fleck. Die 3 Menüoptionen sind die 3 weißen Kringel. der mittlere wird ausgewählt, wenn man ihn lange genug fokussiert [66][67]	19
Abbildung 29:	Die Microsoft HoloLens bringt nativ die beiden Gesten Airtap (links und Mitte) und Bloom mit. Airtap ist das "Select"-Kommando. Damit lassen sich also Menüpunkte eines HUD auswählen, navigieren oder Objekte im Raum positionieren. Bloom ist das "Home"-Kommando [68].....	19
Abbildung 30:	Die Leap Motion verwendet die Airtap-Geste ("pinch fingers") in einer Demonstrationsanwendung dazu, neue Quader zu erzeugen [69].....	19
Abbildung 31:	Mit Hilfe der Leap Motion kann ein digitaler 3D-Quader mittels eines digitalen 3D-Handmodells gegriffen und transportiert werden. Die reale Hand steuert die virtuelle [69].....	20



Abbildung 32: AR-unterstützte Kollaboration per Smart Glass [70]	20
Abbildung 33: Bedienung des Touchpads an der Google Glass [59]	21
Abbildung 34: Sondertasten auf der Frontseite dieses ruggedized Tablet PCs [4][5]	21
Abbildung 35: Fotomontage der Arbeitssituation mit Gravity Sketch [74]	21
Abbildung 36: HUD des Service-Assistenten MARTA: Prozesssteuerung (unten), Home, Hinweise, Notizen, Multimedia, Wiederholen (rechts), Textbeschreibung (oben links) [75]	22
Abbildung 37: HUD eines Konfigurators mit allen Menüoptionen im Kreis: Information, Verschieben, Messen, Zoom, Laden, Speichern, Fotografieren [39]	22
Abbildung 38: HUD des VW-Fabrikplanungsassistenten mit Eingabemöglichkeiten für die exakte Positionierung und Vermessung [35][36][37]	22
Abbildung 39: HUD eines Konfigurators, der Auswahloptionen über ein Slide-Menü anzeigt [46]	23
Abbildung 40: Pols in einer AR-Stadtszene [76]	23
Abbildung 41: Pols in einer AR-Fabrikszene [77]	23
Abbildung 42: Über das HUD-Menü unten rechts wird ausgewählt, ob selektiert, verschoben, rotiert oder skaliert werden soll. Der weiße Kreis mit schwarzem Ring entspricht der Feststelltaste [78]	23
Abbildung 43: Selektion von Objekten durch Antippen auf dem Touch Screen. Blau sind die bereits selektierten Objekte, die anschließend gruppiert werden [78]	23
Abbildung 44: Verschieben oder Rotieren von Objekten durch Antippen und Ziehen [78]	24
Abbildung 45: Größenskalierung selektierter Objekte durch Ziehen mit 2 Daumen [78]	24
Abbildung 46: 3D Separation Interface [79]	24
Abbildung 47: 3D Separation Interface with Visual Links [79]	24
Abbildung 48: 3D In-place with Visual Links [79]	24
Abbildung 49: 3D Temporal Interface [79]	25
Abbildung 50: 2D Separation Interface [79]	25
Abbildung 51: Der Nutzer hält einen Lego-Karton, der als Marker dient, vor die Kamera. Ein 3D-Modell wird auf dem Karton in Display angezeigt [80]	25
Abbildung 52: Windströmung in einem 3D-Stadtmodell, projiziert auf ein physisches Maßstabsmodell. Der Verlauf und die Stärke der simulierten Windströmung ist dabei abhängig von der Positionierung der Gebäude. Diese ist flexibel; Gebäudepositionen werden von einer Kamera erfasst [81]	26
Abbildung 53: Ein einfaches System zur Konfiguration eines Nissan-PKW: Der Nutzer legt seinen Finger auf die Stelle im Katalog. Die Kamera erfasst dieses, Der Rechner zeigt die Szene auf dem Bildschirm und ändert das Fahrzeug [82]	26
Abbildung 54: Der Nutzer drückt das weiße Feld (rechts unten). In diesem Moment hängen die blauen Blöcke fix am Tablet PC und werden mit ihm gemeinsam bewegt. Über das Loslassen des weißen Feldes werden auch die blauen Blöcke losgelassen [78]	26
Abbildung 55: Die Fa. NORTH mittlerweile von Google geschluckt, brachte schon vor wenigen Jahren eine Smart Glass mit dem Assistenzsystem Alexa von Amazon heraus.	27



Abbildung 56: Auch Amazon entwickelte bereits eine eigene Smart Glass „Echo Frames“ mit dem Assistenzsystem Alexa.....	27
Abbildung 57: Anwendungsbeispiel für Eye Tracking: Auswahl eines 2D-Barcodes unter vielen in Kontext der Paketlogistik ; Blick durch das Smart-Glass-Display [86].....	28
Abbildung 58: HUD im PKW mit Status- und Navigationsinformationen [87].....	28
Abbildung 59: Konzept einer Minimap mit Referenzobjekt, Pols, Blickposition und Sichtkegel [88]	29
Abbildung 60: AR-Oberfläche zur räumlichen Exploration mit Minimap (unten rechts), sichtbaren Pols (blau) und Pols außerhalb des Sichtbereichs (weiße Punkte auf der weißen Linie [88]	29
Abbildung 61: Relevante Normen, Standards und Richtlinien zur Beachtung beim User Interface Design für Virtual Reality und Augmented Reality.....	33
Abbildung 62: Iterativer Entwicklungsprozess entsprechend ISO 9241-210.....	35
Abbildung 63: Control Type Table - geeigneter Einsatz von Interaktionsmodi [89]	47
Abbildung 64: Command Response Table: geeignete Systemantworten auf Benutzereingaben [89]	48
Abbildung 65: AR-Design-Richtlinien nach Blokša [89]	49
Abbildung 66: User-Interface der VR-Lösung COVISE.....	53
Abbildung 67: User-Interface der 3D-Lösung bs contact.....	53
Abbildung 68: User-Interface der VR-Lösung ESI Ic:ido	53
Abbildung 69: User-Interface der VR-Lösung Google Tiltbrush.....	53
Abbildung 70: User-Interface Planungstisch Fraunhofer IPA.....	53
Abbildung 71: Ein Umgang mit dem babylonischen Interaktions-Wirrwarr: in FreeCAD kann der User seine Art der 3D-Interaktion aus acht Optionen auswählen	53

1. Einführung

1.1 Motivation

Die intuitive, d.h. selbsterklärende und die mental wenig aufwändige Benutzung und Interaktion mit den eigentlichen V/AR-Inhalten ist mitentscheidend für den Markterfolg von V/AR-Softwareprodukten in der Praxis. Gute Bedienbarkeit und im weiteren Sinne auch positive Nutzererfahrungen sind für Benutzungsschnittstellen von V/AR-Software ein entscheidender Wettbewerbsfaktor.

Wir erleben heute, dass sich für einige Bereiche der Mensch-Computer-Interaktion Standards durchgesetzt haben. Zu nennen sind hier an erster Stelle WIMP(windows-icon-menu-pointer)-Systeme, wie beispielsweise auf PC-Desktop-Systemen unabhängig vom Betriebssystem wie etwa Microsofts Windows, Apples MacOS oder Unix Anwendung finden. Auch für Touch-Oberflächen wie Smartphones oder Tablet PCs haben sich einige gängige, allgemein bekannte Mechanismen der Interaktion in der breiten Öffentlichkeit durchgesetzt. Auch funktionieren diese im Allgemeinen unabhängig vom Betriebssystem (beispielsweise Android vs. iOS vs. Windows Mobile) weitestgehend gleich.

Da die Interaktion mit digitalen 3D-Objekten vielschichtiger - etwa bedingt durch sechs Freiheitsgrade anstelle von nur zwei Freiheitsgraden bei flächigen Elementen wie etwa Textdokumenten - und historisch gesehen jünger ist als die 2D-Interaktion, haben sich noch keine einheitlichen Interaktionsstandards herausgebildet. Die Gründe, die sich dahinter verbergen, sind vielfältig: Untersuchungen zur Identifikation der "besten" Art der Interaktion sind aufwändig und teuer. Es gibt für die Interaktion mit 3D-Objekten weitere Interaktionsgeräte neben der klassischen Maus. Sicher spielt es auch eine Rolle, dass Standardisierung Transaktionskosten und Anpassungskosten senkt: der Wechsel von einem standardisierten System zu einem anderen standardisierten System wird durch Normung erleichtert. Dieses widerspricht häufig den Geschäftsinteressen von Markt-beherrschenden Großunternehmen, die in der Konsequenz versuchen, eigene Quasi-Standards zu setzen, die sich aber von den Formaten der Wettbewerber unterscheiden, um damit den Wechsel ihrer Kunden zum Konkurrenten zu erschweren.

Dieser Mechanismus ist auch für den Markt der V/AR-Software zu beobachten. Er stellt sich als problematisch insbesondere für kleine und mittelständische Software-Firmen heraus. In vielen der oben angeführten Anwendungsbereiche von V/AR-Software, besonders im professionellen Einsatz, ist Software in den seltensten Fällen ein Solitär, der unabhängig von anderen technischen Systemen betrieben wird: in der ganz überwiegenden Anzahl von Anwendungsgebieten funktioniert Software als Teil einer Prozesskette, als Baustein mit vor- und nachgelagerten Bearbeitungsschritten. Diese Schritte finden - der Natur der Sache entsprechend - in weiteren 3D-Software-Lösungen statt. Unterscheiden sich hier aber die 3D-Interaktionsmechanismen deutlich, so hat dies gravierende Konsequenzen, da der Benutzer von einem Bedienkonzept auf ein anderes wechseln muss: die Benutzung von V/AR-Software wird damit anstrengender, fehlerträchtiger, langsamer und unbefriedigender.

1.2 Vorgehensweise

In einem ersten Schritt wird der aktuelle Stand des Wissens und der Technik in den Themenfeldern VR-Interaktion und AR-Interaktion erhoben. Danach folgen eine Sichtung und Sammlung aktuell verfügbarer Empfehlungen für das V/AR-User Interface-Design, die größtenteils aus der wissenschaftlichen Forschung stammen; auch relevante Normen werden in dem Kontext recherchiert und gelistet. Nach einem kurzen Blick auf aktuelle Herausforderungen werden Bedarfe identifiziert und daraus Forderungen an die Politik und die Wirtschaft abgeleitet.

2. VR-Interaktionsmodi: Hardware-Betrachtungen

Die drei großen Interaktionsaufgaben sind die Navigation, die Objektmanipulation und die Menübedienung. Daneben gibt es noch einige kleinere Aufgaben wie die Selektion oder das geometrische Messen. Grundsätzlich kann sie VR-Interaktion haptisch erfolgen, oder aber per Lageänderung (Head Tracking bei Repositionierung des Nutzers) oder die Computer-gestützte Zusammenarbeit (computer-supported cooperative work – CSCW) kommt zum Einsatz.

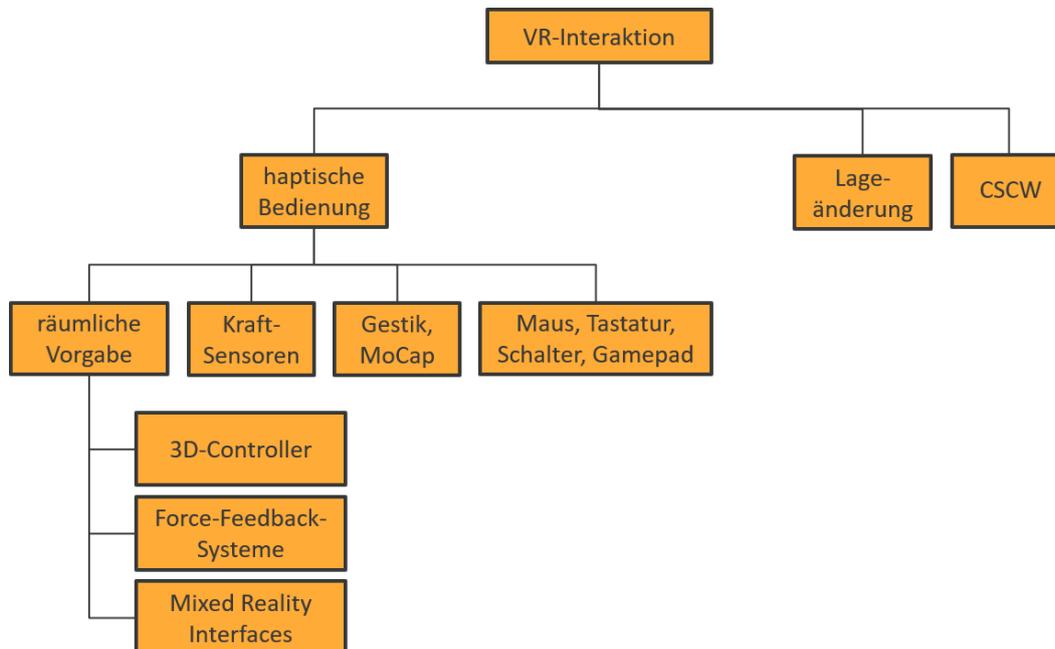


Abbildung 1: Gliederung der Interaktionsmöglichkeiten mit Virtual-Reality-Systemen

2.1 Haptische Bedienung

Als Haptik bezeichnet man die Lehre von den Haut- und Haltungssinnen. Die haptische Bedienung findet vorwiegend mit den Händen statt, aber auch die implizite Bedienung per Head Tracking fällt darunter.

2.1.1 Räumliche Vorgabe

2.1.1.1 3D-Controller

Interaktion: Bei der räumlichen Vorgabe mittels 3D-Controller erfolgt die Interaktion über die Positionierung des 3D-Controllers im Raum.

Objektmanipulation: Dabei wird für die Objektmanipulation in den einfachsten Fällen der Positionswert des Controllers an ein 3D-Objekt übertragen (dieses kann auch skaliert, also verstärkt oder vermindert erfolgen).

Navigation bei der Projektion: Bei der Navigation hingegen wird durch die Re-Positionierung des 3D-Controllers ein Vektor aufgezogen, welcher die Navigationsrichtung und -geschwindigkeit vorgibt. Dieser Navigationsmechanismus wird zu meist bei Projektionssystemen eingesetzt.

Navigation bei HMD und CAVEs: Je höher allerdings der Immersionsgrad, desto problematischer ist der zuvor genannte Navigationsmechanismus, da sich die vestibuläre und die visuelle Bewegungswahrnehmung zu unterscheiden beginnen.



Daraus resultiert die Simulatorkrankheit (Cyber Sickness, Motion Sickness, See-krankheit). Daher arbeitet man in hoch-immersiven Umgebungen (wie HMD, CAVE) für die Navigation über große Distanzen eher mit der Methode der Teleportation: dabei wird ein entfernter Ort in der 3D-Szene ausgewählt und man springt (ohne Flug) direkt zu diesem. Für die Navigation über kleine Distanzen hingegen wird die Lageänderung eingesetzt (siehe Abschnitt unten).

System-/Menübedienung: Die Umsetzung der Bedienung des 3D-Controllers auf Menüs zur Steuerung der Funktionen der Programmumgebung sind zwischen den 3D-/VR-Lösungen völlig heterogen und folgen keinem einheitlichen Muster (siehe dazu auch Kapitel 5 auf Seite 53).

Beispiele:

Getrackte Griffel, Joysticks mit Schaltern und Tastern

3D-Controller sind im Prinzip nichts anderes als getrackte Griffel oder Joysticks, die daher auch immer Eingabelemente wie Schalter und Taster oder kleinere Joysticks umfassen. 3D-Controller sind also technologisch immer den Trackingsystemen gefolgt. Einer der ersten 3D-Controller war so beispielsweise der Polhemus Stylus (siehe Abbildung rechts), der auf der Basis elektromagnetischen Trackings funktionierte.



Abbildung 2: Polhemus Stylus

Aktuelle 3D-Controller wie der Oculus Touch verwenden optisches Tracking, gegebenenfalls in Kombination mit 9-DOF-IMUs (9-degrees-of-freedom inertial measurement units).



Abbildung 3: Oculus Touch

Vorteile:

- Die Objektmanipulation per direkter räumlicher Vorgabe unter Verwendung von 3D-Controllern ist sehr intuitiv.
- Die Navigation per indirekter räumlicher Vorgabe (Umsetzung Vektor in Geschwindigkeit) unter Verwendung von 3D-Controllern ist ebenfalls sehr intuitiv.
- Der Einsatz ist auch in Kombination mit VR Headsets / Head Mounted Displays sehr gut möglich.
- Aufgrund ihrer sechs räumlichen Freiheitsgrade und ggf. diverser Schalter und Taster bieten 3D-Controller eine enorme Fülle an Eingabemöglichkeiten, die beispielsweise für die Menüführung eingesetzt werden kann.

Nachteile:

- Die enorme Fülle an Eingabemöglichkeiten, die mit 3D-Controllern einhergeht, wurde von den Entwicklern von 3D- und VR-Lösungen höchst unterschiedlich eingesetzt. Damit unterscheiden sich die User Interfaces verschiedener 3D-/VR-Lösungen maßgeblich.
- In hoch-immersiven Umgebungen ist die Flugnavigation mit Beschleunigung, Fahrt und Bremsen sehr kritisch, aber es gibt gute Alternativen wie die übergangslöse Point-to-Point-Navigation per Teleportation.

- Je nach verwendeter Technologie kann es Einschränkungen geben, beispielsweise aufgrund von Okklusion, Störfeldern, etc.

- Abhängigkeiten:**
- 3D-Controller und VR-Software müssen zueinander kompatibel sein.
 - Man benötigt ausreichend Platz für die Interaktion (da räumliche Vorgabe)
 - Die Interaktion mit dem spezifischen User Interface will gelernt sein.

2.1.1.2 Mechaniken und Force-Feedback-Systeme

Alternativ zu elektromagnetischen, Ultraschall-basierenden oder optischen Trackingsystemen kann man auch mechanisch tracken. Knickarm- und Seilroboter funktionieren hier invers.

Interaktion: Der Benutzer bewegt den Endeffektor und über Erfassung der inversen Kinematik wird die Position (ggf. Orientierung) des Endeffektors berechnet. Die Interaktionen mit derartigen Systemen dienen ausschließlich der Objektmanipulation per Positionsvorgabe (dieses kann auch skaliert, also verstärkt oder vermindert erfolgen).

Beim Einsatz von Exoskeletten geht es darum, die Stellungen der Extremitäten oder der Wirbelsäule zu erfassen und diese auf einen digitales 3D-Menschmodell zu übertragen.

Beispiele:

Inverse Kinematiken

Knickarm-Roboter lassen sich zur Eingabe verwenden, wenn an deren Endeffektor (Tool Center Point – TCP) ein Eingabe-Element (Griff, Griffel, o.ä.) angebracht wird. Der Benutzer bewegt den Griffel und mittels Rotationsencoder in den Gelenken wird die TCP-Position über die inverse Kinematik des Roboters berechnet. Die Systeme von Geomagic und Haption verfügen über eine 6-DOF-Eingabe (also Position und Orientierung).



Abbildung 4: Geomagic Touch



Abbildung 5: Haption Virtuoso

Auch ein Seilroboter kann invers eingesetzt werden, wenn die Seile aktiv nachgeführt (eingezogen) werden. Auch hier wird ein Eingabe-Element am Endeffektor angebracht, welches der Benutzer dann bewegt.

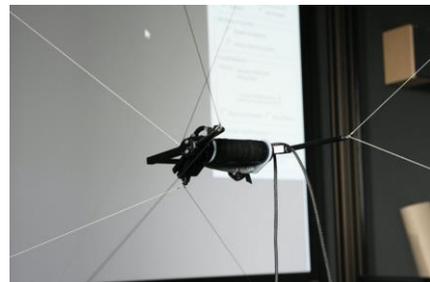


Abbildung 6: Haption Inca6D



Exoskelette

Exoskelette sind Mechaniken am Menschen, die entlang seiner Extremitäten oder Wirbelsäule geführt werden und den Bewegungen des Menschen folgen. Auch hier kann über entsprechende Encoder auf Gelenkstellungen rückgefolgt werden.

Entsprechend der Zielsetzung der 3D-Umgebung werden Arme, Finger, Beine, Kopf oder Rumpf getrackt. Das System von Dexta erfasst so Finger und Daumen, Novint hingegen trackt die Armstellung.



Abbildung 7: Dexta Robotics Dexmo Exoskeleton



Abbildung 8: Novint XIO

Vorteile:

- Die Messung mittels Mechaniken ist sehr robust und präzise.
- Der Hauptgrund für den Einsatz von Mechaniken liegt zumeist nicht in der Eingabe, sondern in der Ausgabe: über die Mechaniken lassen sich Kräfte und Drehmomente auf dem Menschen aufbringen, etwa um Kollisionen abzubilden oder bestimmte Bewegungsbahnvorgaben zu erzwingen.
- Exoskelette sind gut gemeinsam mit VR Headsets / Head Mounted Displays möglich. Inverse Kinematiken lassen sich gut mit Projektionen und Bildschirmen betreiben.

Nachteile:

- Die Mechaniken können sperrig sein, im Weg sein, den Arbeits- und Bewegungsraum des Nutzers einschränken.
- Die Arbeitsräume von Knickarmsystemen sind meist recht klein (Seilroboter können aber wesentlich größere Volumina bedienen)
- Exoskelette bringen ein Eigengewicht mit, dass unerwünscht oder unbequem sein kann.
- Exoskelette sind schwierig mit Projektionen und Bildschirmen zu betreiben (z.T. Akkommodationskonflikte bei virtuell gegriffenen 3D-Objekten) und Gelenkarme sind schwierig mit VR Headsets / Head Mounted Displays kombinierbar aufgrund unterschiedlicher Arbeitsräume und Haltungsanforderungen.

Abhängigkeiten:

- Integrationen der Haptik-Hardware und -Software mit dem Visualisierungssystem müssen vorhanden sein.
- Die vorgestellten Systeme bedürfen teils Rauminstallationen; die Knickarmsysteme benötigen Auflagen, um sie auf Arbeitshöhe zu bringen.
- Wird Force Feedback eingesetzt, wird neben dem grafischen auch ein haptisches Modell benötigt.

2.1.1.3 Mixed Reality Interfaces

Mixed Reality ist definiert als die gleichzeitige Präsentation künstlicher und natürlicher Sinnesreize. Zumeist ist es sinnvoll, physische haptische Elemente mit digitalen Visualisierungen zu verknüpfen. Durch diesen Ansatz ergeben sich anfassbare, tangible Interfaces, die dennoch über die ganzen Freiheiten der Computergrafik verfügen. Da es sich bei den tangiblen Interfaces um Nachbildungen echter, physischer Systeme handeln kann, ist die Bandbreite möglicher Interfaces nahezu unbegrenzt: alles, was im realen Leben durch Menschen bedient wird, könnte sich prinzipiell als Eingabesystem eignen. Darüber hinaus gibt noch unzählige gesondert gestaltete haptische Eingaben ohne reale physische Entsprechung.

Interaktion: Der Benutzer bedient oder greift das haptische Element und benutzt es zumeist in der Art und Weise, wie er es in der Realität machen würde.

Beispiele:

Projection Mapping

Abbildung 9 zeigt eine Aufprojektion auf einen schlicht grauen 3D-Druck. Das dargestellte Objekt ist eine Waschmaschine. Im 3D-Druck befinden sich Touch-Sensoren, die durch die Oberfläche des 3D-Drucks hindurch bedient werden können. Die Interaktion funktioniert hier nun so wie die Bedienung der realen Waschmaschine: der Nutzer drückt so etwa auf die Tasten der Maschine. Daraufhin setzt sich die Maschine in Betrieb oder ändert den Inhalt ihres Displays.



Abbildung 9: 3D-Druck mit Aufprojektion und eingebauten Touch-Sensoren

Fahrzeug-Bedienungen

Abbildung 10 zeigt ein Lenkrad, Schaltknüppel und Pedalerie für ein simuliertes PKW-Cockpit, Abbildung 11 zeigt ein HOTAS(hands on throttle and stick)-System für ein simuliertes Flugzeug-Cockpit. In beiden Fällen versucht man hier also, die natürliche Interaktion komplett nachzustellen.



Abbildung 10: Logitech G27

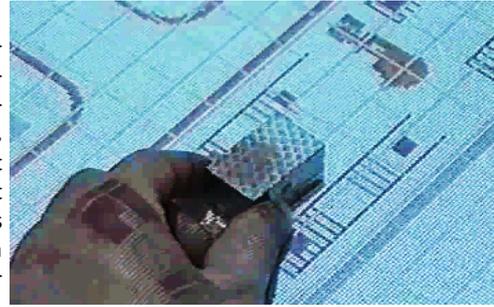


Abbildung 11: Thrustmaster Warthog HOTAS-System



Table Top Interfaces

Rechts ist die Interaktion mit einem projizierten 2D-Fabrikgrundriß auf einer Tischoberfläche (Table Top Interface) gezeigt. Die Interaktion erfolgt mittels kleiner Metallklötzchen, die der Nutzer auf dem Tisch verschiebt. Lässt er das Klötzchen längere Zeit auf einem Objekt in der Fabrik stehen, so wird dieses an das Klötzchen gebunden und wandert mit diesem innerhalb des Layouts. Verdeckt der Nutzer das Klötzchen mit der Hand, so wird die Bindung aufgehoben.



**Abbildung 12: Fraunhofer IPA
Fabrikplanungstisch**

Vorteile:

- Die Interaktion mit Mixed Reality Interfaces ist sehr intuitiv, da sie eine bereits bekannte Interaktion nachstellt.
- Die Interaktion mit Mixed Reality Interfaces ist sehr intuitiv, da weitestgehend auf Interaktionsmetaphern verzichtet wird und die Eingabe direkt an der gewünschten richtigen Stelle am Objekt stattfindet. Es muss also fast kein geistiger Transfer geleistet werden.

Nachteile:

- Da hier mit physischen Objekten gearbeitet wird, werden unterschiedliche Interaktionsobjekte je Darstellungsgegenstand benötigt. Jeder Darstellungsgegenstand benötigt also ein zumindest teilweises körperliches Pendant. Die Erstellung dieser Pendants kann aufwändig sein.
- Eine Gesamtinstallation aus Visualisierung, physischem Interface und gegebenenfalls eines Trackingsystems (wie beim o.a. Fabrikplanungstisch) kann komplex sein und signifikanten Platz in Anspruch nehmen.

Abhängigkeiten:

- Integrationen der Haptik-Hardware und -Software mit dem Visualisierungssystem müssen vorhanden sein.

2.1.2 Kraftsensoren

Interaktion: Die Eingabe über Kraftsensoren funktioniert so, dass der Benutzer einen im Grunde nicht beweglichen Griff oder Ball in eine gewisse Richtung drückt oder ein Drehmoment um eine gewisse Achse ausübt. Dieser Druck und dieses Drehmoment werden gemessen und als Eingabesignal verwendet.

Der überwiegende Einsatzfall ist die Objektmanipulation. Dafür wird der erzeugte Kraftvektor als Geschwindigkeitsvektor interpretiert und auf das 3D-Objekt übertragen. Ähnlich verhält es sich mit dem Drehmoment, dass als Rotationsgeschwindigkeit das 3D-Objekt bewegt.

Beispiele:

Spacemouse und Spaceball

Abbildung 13 und Abbildung 14 zeigen eine Standard- und eine mobile Spacemouse der Fa. 3DConnexion. Diese ist vornehmlich in der CAD-Konstruktion im Einsatz und dient der Bewegung der 3D-Konstruktionszeichnung (vornehmlich mit der linken Hand, da die normale Computermaus weiter mit rechts geführt wird). Die Spacemouse kann mit sehr großer Präzision geführt werden, da der Handballen aufliegt und die Interaktion ausschließlich über die Finger ausgeübt wird.



Abbildung 13: 3DConnexion SpaceMouse



Abbildung 14: 3DConnexion SpaceTraveller

Abbildung 15 zeigt den so genannten Spaceball der Fa. 3DConnexion. Die Kugel wird hier mit der gesamten Hand gegriffen. Die Kraft und das Drehmoment werden daher eher über Hand und Arm ausgeübt als über die Finger, was die Interaktion nicht so feinfühlig macht im Vergleich zur o.a. Spacemouse.



Abbildung 15: 3DConnexion Spaceball

Vorteile:

- preislich günstige Eingabegeräte
- 6 Freiheitsgrade
- lange etabliert; viele 3D- und VR-Lösungen besitzen Schnittstellen zur Spacemouse
- Kraftsensoren sind gut mit Projektionen und Bildschirmen zu betreiben

Nachteile:

- Bedienung ist gewöhnungsbedürftig
- Kraftsensoren sind schwierig mit VR Headsets / Head Mounted Displays kombinierbar aufgrund unterschiedlicher Arbeitsräume und Haltungsanforderungen.

Abhängigkeiten:

- Es ist eine Auflage bereitzustellen

2.1.3 Gestik, Motion Capturing (MoCap), sonstiges Tracking

Interaktion: Die Gestik und / oder die Haltung des Benutzers wird erfasst und ausgewertet. Die Auswertung kann einfach so erfolgen, dass ein digitales 3D-Menschmodell gesteuert wird oder dass es einen Befehlssatz gibt, dessen diskrete Befehle über einzelne Gesten aktiviert werden.

Beispiele: Gestenerkennungen
Die Leap Motion (Abbildung 16) funktioniert über einen optischen Sender und kann im Nahbereich verwendet werden. Erkennt werden Hände und Finger; ein Hand-Finger-Modell kann angesteuert werden.



Abbildung 16: Google Leap Motion

Das Myo-Armband (Abbildung 17) der Fa. Thalmic Labs wertet myoelektrische Signale der Handmuskulatur im Unterarm aus. Ein Hand-Finger-Modell wird angesteuert.



Abbildung 17: Thalmic Labs Myo Armband

Motion Capturing

Mit Motion Capturing bezeichnet man die Verfahren zur Aufnahme der gesamten Körperbewegung des Menschen. Auch Einzelaspekte (z. B. nur Finger) können durchaus relevant sein, um etwa Erreichbarkeitsuntersuchungen an digitalen Prototypen vorzunehmen.



Abbildung 18: Xsens Xsens MTI-Series/ Xsens MVN

- Vorteile:**
- detaillierte Erfassung der Extremitäten, die für eine Untersuchung relevant sind.
 - natürliche und intuitive Ansteuerung eines Menschmodells; implizite Programmierung
 - teils nicht-intrusive Erfassungsmethoden (optisch)
 - Einsatz von Gestensteuerung, wo Sprachsteuerung oder Steuerung über Eingabegeräte nicht möglich ist.
- Nachteile:**
- Gestensteuerung muss erlernt werden.
 - einige Motion-Capturing-Anzüge sind sehr intrusiv.
- Abhängigkeiten:**
- Integrationen des Motion Capturings mit dem Visualisierungssystem (Hardware und Software) müssen vorhanden sein.

2.1.4 Tastatur, Schalter, Gamepad, Touchpad

Interaktion: Je nach Visualisierungshardware (Projektion, VR-Headset, ...) können noch verschiedene andere manuelle Eingaben zum Einsatz kommen. Welchem System der Vorzug zu geben ist, hängt letztlich auch davon ab, wieviel der Nutzer von seiner realen Umgebung noch wahrnehmen kann, ob er also das Eingabegerät und dessen Bedienung überhaupt sehen kann.

Beispiele: Eingaben an Head Mounted Display [Samsung]
Moderne Head Mounted Display weisen teils (2D-)Touchpads, Schalter, Taster, Drehregler auf. [59] [71]



Abbildung 19: Bedienelemente an der Samsung GearVR: 2D-Touchpad, Home Key, Bak Key, Hoch- und Runter-Taste [71]

Gamepads

Gamepads mit ihren zahlreichen Tastern, Schaltern und Joysticks bieten vielerlei Eingaben für beide Hände. Ist die Benutzung des Gamepads gut gewohnt, kann der Benutzer dieses sogar blind bedienen.



Abbildung 20: Logitech F710

Mobile Tastaturen

Für Wearable-Computing-Systeme sind in der Vergangenheit verschiedene Eingabesysteme entwickelt worden, die sich grundsätzlich auch für VR-Systeme eignen. Dazu zählen mobile Tastaturen in unterschiedlicher Ausprägung [72][73]. Diese zeichnen sich dadurch aus, dass sie keine Unterlage benötigen.



Abbildung 21: Tastatur für den Unterarm [72]



Abbildung 22: Die Fausttastatur Twiddler [73]



- Vorteile:**
- bei der Konzeption eines VR-Systems kann ohnehin vorhandene Hardware als Eingabe genutzt werden
 - schnelle Erzeugung einer 1D-/2D-Eingabe
 - schnelle Eingabe genauer alphanumerischer Daten
 - flexible Belegung der Eingaben bei Tablet PCs und Sondersystemen
- Nachteile:**
- Eingaben teils während der Benutzung nicht sichtbar
 - größere Mengen alphanumerischer Daten mühsam einzugeben
 - die Menge der Tasten ist (Ausnahmen Tastaturen) zumeist beschränkt
- Abhängigkeiten:**
- die VR-Anwendungen sind auf die Hardware abzustimmen
 - Wechsel in der Bedeutung der Hardware-Belegung müssen dennoch Konsistenzkriterien entsprechen
 - schwierig bei Handschuhen

2.2 Lageänderung – Head Tracking

Interaktion: Im Fall der Lageänderung erfolgt die Interaktion schlicht durch die Änderung der Position des Benutzers im VR-System. Da die Perspektive auf den Inhalt der VR-Szene immer abhängig ist von der Benutzerposition, ergeben sich durch seine Lageänderung damit neue Einblicke.

Beispiele: Head Tracking bei der Projektion

Bei einer stereoskopischen VR-Projektion tragen die Benutzer eine Stereobrille zur Kanaltrennung. Diese kann, wie im Beispiel rechts, mit autoreflektierenden Kugeln bestückt werden. Der Trackingbereich wird mit Infrarotlicht bestrahlt und Infrarotkameras erfassen die Kugeln. Daraus wird in der Folge die Benutzerposition berechnet. Aus dieser wird wiederum die korrekte Ansicht (Off-Center-Werte, Field of View) für den Projektionschirm ermittelt.



Abbildung 23: Head Tracking für Projektionsbasierte Virtual Reality

Head Tracking eines Head Mounted Displays

Auch Head Mounted Displays müssen bei Benutzung in ihrer Position erfasst werden. Dafür kommen heutzutage zumeist Kamerasysteme zum Einsatz. Diese sind entweder im Raum verbaut und „beobachten“ das VR-Headset (outside-in-Tracking) oder sie befinden sich im VR-Headset und beobachten die Umgebung (inside-out-Tracking). Damit das Inside-out-Tracking besser funktioniert, werden teils noch IR-Lichtquellen oder Laserstrahlquellen im Raum aufgestellt.

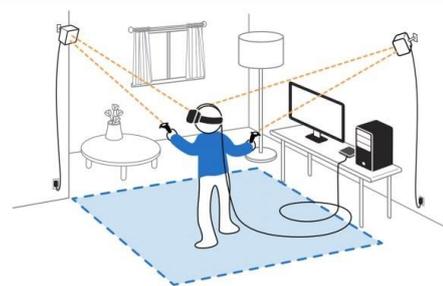


Abbildung 24: Head Tracking für Headsetbasierte Virtual Reality

- Vorteile:**
- Die Änderung der Perspektive mittels der Änderung der Benutzerposition entspricht der natürlichen Wahrnehmung und ist daher vollständig intuitiv. Der Nutzer muss keinerlei kognitive Arbeit leisten.
 - Für die Bedienung per Head Tracking bleiben die Hände weiterhin frei.
 - Das Tracking ist nicht-intrusiv, da es immer an das Visualisierungssystem (VR-Headset oder Stereobrille) gekoppelt ist.

- Nachteile:**
- Die sinnvolle Bedeutung der Benutzereingabe umfasst lediglich seine Positionsänderung. Andere sinnvolle Eingaben sind über diese Art der Interaktion kaum denkbar.
- Abhängigkeiten:**
- Es wird fast immer ein gemeinsames Trackingsystem für die 3D-Controller der Hände und für den Kopf eingesetzt.

2.3 Computer-Supported Cooperative Work (CSCW)

Der Vollständigkeit halber muss an dieser Stelle eine weitere Modalität der Interaktion genannt werden: Neben der Verarbeitung der mit dem VR-System erzeugten Informationen sowie der Planung und Durchführung der eigenen Interaktion mit dem VR-System kommt ein dritter Kanal hinzu, namentlich die Rechner-basierte Kooperation (Computer Supported Cooperative Work - CSCW). Hier geht es darum,

- mit anderen Menschen in Echtzeit zusammenzuarbeiten (Messaging, Telefon, Videokonferenz, VR-basierte Kollaborationsformen),
- Informationen aus dem IT-Backend des Unternehmens (PLM-Systeme, CRM-Systeme, Dokumentation, Trainings-Center) abzurufen,
- Informationen aus Unternehmens-internen und offenen Sozialen Medien zu nutzen,
- eigene Inhalte (Notiz, Sprachaufnahmen, Fotos, Screenshots, Videos, Animationen, 3D-Modelle) für die Dokumentation und Soziale Medien zu erzeugen und aufzuladen.

3. AR-Interaktionsmodi: Hardware-Betrachtungen

Entsprechend der sehr großen Anzahl möglicher AR-Anwendungen und der möglichen AR-Hardware-Setups gibt es viele denkbare Arten, mit einem AR-System zu interagieren.

Der ganz überwiegende Teil der AR-Interaktion, wie wir ihn heute sehen, ist die haptische Interaktion. Haptik beschreibt die Haut- und Haltungsinne und umfasst damit auch die meisten Eingaben, die durch händische Manipulation und Positionsveränderungen erfolgen. Diese Art der Eingaben zählt auch zu den ältesten. In den vergangenen Jahren haben sich aber auch weitere Felder wie Spracheingabe oder Eye Tracking signifikant weiterentwickelt. Sie haben in der Folge ebenfalls Einzug gehalten für die Bedienung von AR-Systemen. Abbildung 25 zeigt die Gliederung der Interaktionsmöglichkeiten mit AR-Systemen.

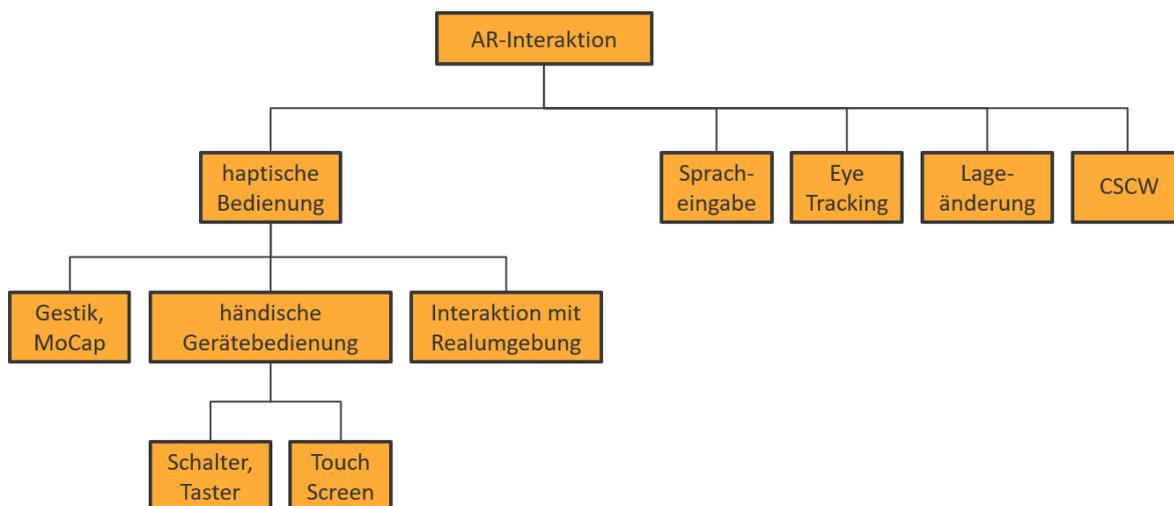


Abbildung 25: Gliederung der Interaktionsmöglichkeiten mit Augmented-Reality-Systemen

Die einzelnen Interaktionsmöglichkeiten werden in der Folge beschrieben.

3.1 Haptische Bedienung

3.1.1 Gestik, Motion Capturing (MoCap)

Interaktion: Über die Bewegung oder die statische Positionierung von Fingern, Händen, Füßen oder dem gesamten Körper können Aktionen ausgelöst werden. Teils kann die Reaktion des AR-Systems unmittelbar erfolgen, teils wird eine Latenzzeit abgewartet um unbeabsichtigtes Bedienen zu vermeiden.

Beispiele: Magic Mirror [Goertz]
 Im Rahmen einer "Magic Mirror"-Anwendung wird das Kamerabild des Nutzers auf einem Display gegenüber dem Nutzer angezeigt: Der Nutzer sieht sich im Display also selbst. Über eine Bildererkennung wird der Nutzer erkannt und Kleidungsstücke (Beispiele: Brille, Schuhe, Kleidung) werden überblendet. Nun reicht es aus, den betreffenden Körperteil zu bewegen, um damit auch die Perspektive auf die 3D-Visualisierung zu steuern. [42]



Abbildung 26: AR-unterstützte Schuhanprobe [42]



Magic Mirror und HUD

Im Rahmen einer "Magic Mirror"-Anwendung wird ein HUD (HeadUp-Display) über das Kamerabild des Nutzers gelegt und dann auf einem Display gegenüber dem Nutzer angezeigt: Der Nutzer sieht also sich selbst hinter dem HUD. Über eine Bilderkennung wird erkannt, ob der Nutzer mit seiner Hand die Bedienoptionen berührt. Daraufhin verändert sich die Anzeige der Bedienoption (Farbwechsel, Blinken, ...), so dass der Nutzer erkennen kann, dass er die richtige Option ausgewählt hat und diese auch reagiert. Erst nach einer kurzen Latenzzeit wird die Bedienoption auch ausgeführt. [65]



Abbildung 27: AR-unterstützte Kleidungsanprobe [65]

Kamera-/Displayausrichtung und HUD

Diese Interaktion erfolgt ähnlich wie die zuvor genannte: ein Menüpunkt wird ausgewählt, kurze Zeit sichtbar markiert und dann ausgeführt. Die Auswahl erfolgt hier allerdings schlicht über den Bildmittelpunkt: Der Bildmittelpunkt stellt damit ein HUD dar; man zentriert den Blick also gewisse Zeit auf den Menüpunkt. Es erfolgt keinerlei Eye Tracking: die eigentliche Blickrichtung des Auges ist irrelevant. [66][67]

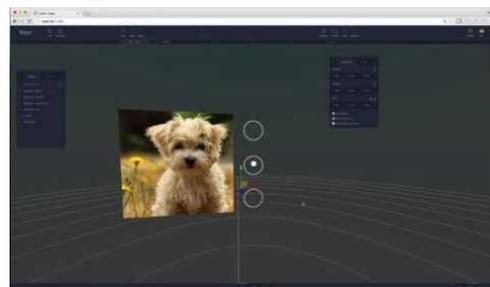
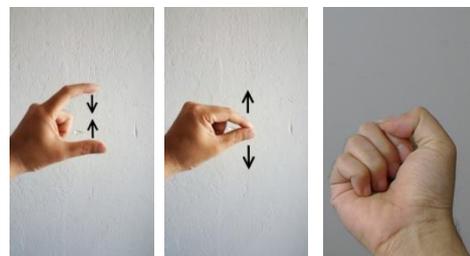


Abbildung 28: Kontrolle über die Blickrichtung (gaze control). Der Bildmittelpunkt ist der kleine weiße Fleck. Die 3 Menüoptionen sind die 3 weißen Kringle. der mittlere wird ausgewählt, wenn man ihn lange genug fokussiert [66][67]

Fingergestik [Microsoft, Leap Motion]

Werden 3D-Tiefenbildsensoren (z.B. Microsoft Kinect, Leap Motion) verwendet, so können einfache Fingergesten gelesen werden. 3D-Tiefenbildsensoren nach dem aktuellen Stand der Technik können allerdings nicht alle 22 Freiheitsgrade der Hand erfassen. Komplexere Gesten wären damit nur per Datenhandschuhe zu erkennen.



Wie die Fingergesten verwendet werden, ist ausschließlich eine Software-Angelegenheit. [68]

Abbildung 29: Die Microsoft HoloLens bringt nativ die beiden Gesten Airtap (links und Mitte) und Bloom mit. Airtap ist das "Select"-Kommando. Damit lassen sich also Menüpunkte eines HUD auswählen, navigieren oder Objekte im Raum positionieren. Bloom ist das "Home"-Kommando [68]

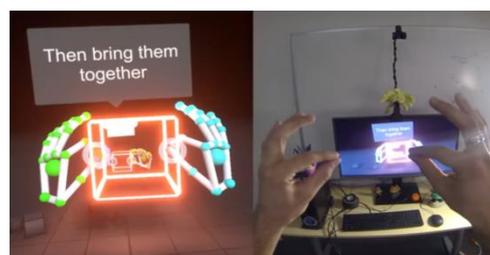


Abbildung 30: Die Leap Motion verwendet die Airtap-Geste ("pinch fingers") in einer Demonstrationsanwendung dazu, neue Quader zu erzeugen [69]



3D-Handmodell und Physik-Engine

3D-Tiefenbildsensorik wird auch dazu eingesetzt, eine virtuelle Hand synchron zu steuern. Wird die 3D-Szene dann von einer Physik-Engine unterstützt, können 3D-Operationen wie Greifen, Tragen, Verschieben, Wegschlagen etc. nachgestellt werden. [69]

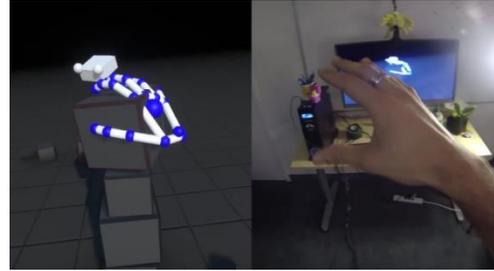


Abbildung 31: Mit Hilfe der Leap Motion kann ein digitaler 3D-Quader mittels eines digitalen 3D-Handmodells gegriffen und transportiert werden. Die reale Hand steuert die virtuelle [69]

Direkte Sicht anderer Nutzer

Die Interaktion mit Gestik hat bei lokaler Zusammenarbeit über AR schließlich die simple Funktion, dass sie von anderen Nutzern gesehen und interpretiert werden kann. Dabei kann es sich auch um natürliche Gestik handeln, die keinen Bezug zu Steuerung des AR-Systems hat. [70]



Abbildung 32: AR-unterstützte Kollaboration per Smart Glass [70]

Vorteile:

- kein gesondertes Interaktionsgerät in der Hand notwendig
- einige der Interaktionen sind intuitiv (siehe u.a. Beispiele: man berührt direkt die gewünschte Auswahloption, man dreht den Fuß,..)
- Blickrichtungskontrolle eine der einfachsten AR-Eingabemöglichkeiten ohne weitere technische Voraussetzungen
- berührungsfrei, damit weniger Probleme mit Verschmutzung von Eingabesystemen

Nachteile:

- häufige Interaktionen können zur Erschöpfung führen, da man sich ständig bewegt oder die Arme unnatürlich hoch hält
- eine Interaktion mit Latenz verlangsamt das Arbeiten insgesamt
- Gesten-Interaktion muss erlernt werden
- korrekte räumliche Tiefe des Touch-Menüs schwierig einzuschätzen
- höhere Platzanforderungen aufgrund des benötigten Bewegungsspielraums
- Verletzungsrisiko durch schnelle Bewegung der Arme

Abhängigkeiten:

- Belegung gegebenenfalls der Hände; damit unter Umständen problematisch, wenn diese anderweitig gebraucht werden (etwa um Werkzeuge zu halten)
- problematisch bei Handschuhen
- technische Voraussetzungen (Bildererkennung, Tiefenbildsensoren) müssen gegeben sein
- HUD (je nach Umsetzung) muss vorhanden sein

3.1.2 Händische Gerätebedienung

3.1.2.1 Bedienung physischer Schalter und Taster

Interaktion: Die Hardware, die das AR-System konstituiert, verfügt in der Regel über Hardware-Schalter, -Taster, -Regler und ähnliches. Diese können auch für die Steuerung der AR-Anwendung genutzt werden.

Beispiele: Eingaben an Smart Glasses [Picavi]
Moderne Smart Glasses und Head Mounted Display (für Video-See-Through-AR) weisen teils (2D-)Touchpads, Schalter, Taster, Drehregler auf. [59] [71]



Abbildung 33: Bedienung des Touchpads an der Google Glass [59]

Eingaben an Smartphones und Tablet PCs
Alle Smartphones und Tablet PCs verfügen über mindestens eine geringe Anzahl an Hardware-Tastern. Einige gesonderte Tablet PCs, in robuster Ausführung ('ruggedized') für den Einsatz auf dem industriellen Shop Floor, weisen zudem noch Sondertasten auf der Ansichtseite auf, die sich anwendungsabhängig belegen lassen.

Diese Steuerungsart betrifft nicht nur die Kontrolle über Tablet-PC-basierte und Smartphone-basierte AR-Systeme: auch Projektionsbasierte AR-Systeme, die ja grundsätzlich ohne Hardware am Körper auskommen, werden über Tablet PCs und Smartphones gesteuert. [4][5]



Abbildung 34: Sondertasten auf der Frontseite dieses ruggedized Tablet PCs [4][5]



Abbildung 35: Fotomontage der Arbeitssituation mit Gravity Sketch [74]

Vorteile:

- bei der Konzeption eines AR-Systems kann ohnehin vorhandene Hardware als Eingabe genutzt werden
- schnelle Erzeugung einer 1D-/2D-Eingabe
- schnelle Eingabe genauer alphanumerischer Daten
- flexible Belegung der Eingaben bei Tablet PCs und Sondersystemen

Nachteile:

- Eingaben teils während der Benutzung nicht sichtbar
- größere Mengen alphanumerischer Daten mühsam einzugeben
- die Menge der Tasten ist (Ausnahmen Tastaturen) zumeist beschränkt

Abhängigkeiten:

- die AR-Anwendungen sind auf die Hardware abzustimmen
- Wechsel in der Bedeutung der Hardware-Belegung müssen dennoch Konsistenzkriterien entsprechen
- schwierig bei Handschuhen

3.1.2.2 Bedienung von AR-Touch-Screens

Interaktion: Mit Smartphones und Tablet PCs stehen AR-Nutzern zwei Eingabegeräte zur Verfügung, die eine 2D-Eingabemöglichkeit bieten. Gleichzeitig bilden sie das Display des AR-Systems selbst (Smartphone- oder Tablet-PC-basierte AR) und sie stellen mindestens das Eingabesystem (etwa für Projektions-basierte AR) dar.[15][36][37][39][75]

Interaktion mit dem HUD

Über HUDs können auf Touch Screens komplexere Menüs erstellt werden. Untersucht man bestehende AR-Assistenzsysteme, so werden folgende Funktionen genannt:

- Laden der Szene oder spezifischer 3D-Objekte
- Konfiguration / Auswahl von 3D-Modellen aus einer vorgegebenen Sammlung
- Steuerung des Renderers (Detailgrad der Modelle/LOD, Texturen anzeigen, welche Objekte anzuzeigen)
- Speichern der Szene (mit Auswahl, Konfiguration, Positionen, Dokumentation,...)
- Fein-Manipulation: exakte Angabe von Position und Orientierung, ggf. als numerische Eingabe; Einschränkung von Bewegungen (z.B. nur Rotation um Hochachse; nur Verschieben auf dem Boden, nicht aber in die Höhe)
- Setzen von geometrischen Messpunkten zur Abstandsmessung
- Erstellen von Dokumentationen (Notizen, Fotos, Sprachaufnahmen, Filmaufnahmen)
- Veröffentlichen / Posten der Dokumentation
- Prozesssteuerung (Beschreibung des aktuellen Schritts, Quittierung eines Prozess-Schritts, Wahl des nächsten Schritts, Wiederholung des vorherigen Schritts, Direktwahl eines Schritts, Anzeige des Status des Gesamtprozesses,...)
- Home-Funktion
- Hilfe und Multimedia: nach Möglichkeit Kontext-sensitiv
- Kommunikation (Telefonieren, Video-Conferencing)



Abbildung 36: HUD des Service-Assistenten MARTA: Prozesssteuerung (unten), Home, Hinweise, Notizen, Multimedia, Wiederholen (rechts), Textbeschreibung (oben links) [75]



Abbildung 37: HUD eines Konfigurators mit allen Menüoptionen im Kreis: Information, Verschieben, Messen, Zoom, Laden, Speichern, Fotografieren [39]



Abbildung 38: HUD des VW-Fabrikplanungsassistenten mit Eingabemöglichkeiten für die exakte Positionierung und Vermessung [35][36][37]

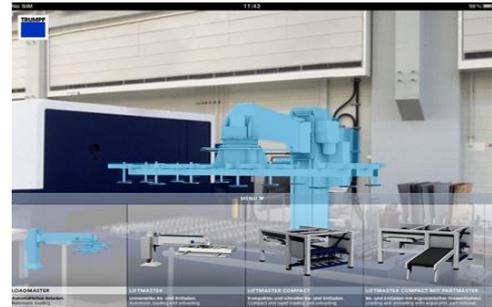


Abbildung 39: HUD eines Konfigurators, der Auswahloptionen über ein Slide-Menü anzeigt [46]

Interaktion mit Pols

Points of Interest (Pols) sind 3D-referenzierte Markierungen, die einen Hinweis darauf geben, dass Zusatzinformationen zu diesem Pol bereitstehen und bei Bedarf abgerufen werden können. Dieses kann beliebiger Multimedia-Content sein. Der Abruf erfolgt durch Anklicken der Pol-Markierungen.

Die Anwendung von Filtern und die gezielte Suche nach bestimmtem Content kann je nach Anwendung wichtig sein, um einen Überfluss an (unnützen) Informationen zu verhindern.

Sind die Pols nicht im direkten Blickfeld, sondern vorborgen (Beispiele: Rückseite eines Objekts, Seitenstraße), kann es sinnvoll sein, Hinweise darauf zu geben, dass weitere Pols existieren ([76][77])



Abbildung 40: Pols in einer AR-Stadtszene [76]



Abbildung 41: Pols in einer AR-Fabriksszene [77]

Interaktion mit der 3D-Szene

Die direkte Interaktion mit der AR-Szene ist über eine Touchoberfläche möglich [78]. Die wichtigsten Eingabemöglichkeiten müssen folgende Funktionen abbilden:

- Selektion der relevanten Objekte, d.h. derjenigen, die aktiviert, manipuliert, konfiguriert, gelöscht, etc. werden sollen. Dieses kann grundsätzlich über direktes Antippen erfolgen. Probleme ergeben sich allerdings, falls es sich um ein (teil-)transparentes 3D-Modell handelt, bei welchem möglich selektierbare Objekte hintereinander gestaffelt liegen: hier muss zusätzlich selektiert werden.
- Manipulation der Objekte hinsichtlich Position und Orientierung. Die Manipulation kann grundsätzlich über Wischgesten erfolgen, jedoch ist zu bedenken, dass das der Raum 6 Freiheitsgrade (3 x Translation + 3 x Rotation) besitzt, der Touchscreen jedoch nur 2. Damit muss ein Mapping zwischen den 2 Eingabefreiheitsgraden und 2 der 6 Raumfreiheitsgrade erfolgen. Grundsätzliche Einschränkungen können hier helfen (also von vorherin blockierte Freiheitsgrade, z.B. nur Rotation um Hochachse; nur Verschieben auf dem Boden, nicht aber in die Höhe).



Abbildung 42: Über das HUD-Menü unten rechts wird ausgewählt, ob selektiert, verschoben, rotiert oder skaliert werden soll. Der weiße Kreis mit schwarzem Ring entspricht der Feststelltaste [78]



Abbildung 43: Selektion von Objekten durch Antippen auf dem Touch Screen. Blau sind die bereits selektierten Objekte, die anschließend gruppiert werden [78]



- Skalieren von Objekten und Zoomen: dieses kann über die Standardgesten für Zoomen und Skalieren, das Spreizen oder Zusammenführen von 2 Fingern geschehen.
- Erzeugen und Löschen von Objekten, die dann skaliert und konfiguriert werden.



Abbildung 44: Verschieben oder Rotieren von Objekten durch Antippen und Ziehen [78]



Abbildung 45: Größenskalierung selektierter Objekte durch Ziehen mit 2 Daumen [78]

Wenn in einer großräumigen Umgebung (Landschaft, Stadt, etc.) mit Hilfe von exploriert werden soll, so könnte dieses nur durch erheblichen Zeitaufwand durch das Umherwandern des Nutzers geschehen. Die Möglichkeit, reale Objekte zu positionieren (siehe nächstes Kapitel) besteht hier nicht, um etwa hinter ein Objekt zu schauen. Daher wurden andere Techniken entwickelt, die 3D-Szene und Realumgebung von einander separieren. [79]

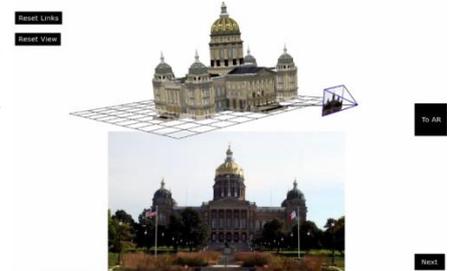


Abbildung 46: 3D Separation Interface [79]

- 3D Separation Interface:
 Die AR-Überlagerung und das Realbild werden für den Benutzer sichtbar auf dem Display räumlich voneinander getrennt (etwa übereinandergestellt.). Die reale Nutzerposition ist über ein Kamerasymbol in der 3D-Ansicht gezeigt. Die 3D-Ansicht kann nun gedreht werden. Die untere Bildanzeige zeigt weiterhin das Kamerabild.

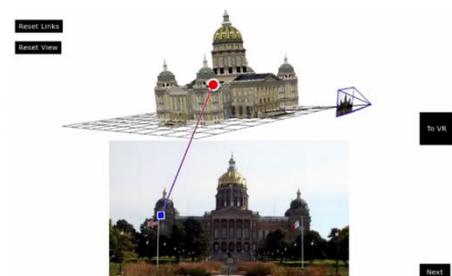


Abbildung 47: 3D Separation Interface with Visual Links [79]

- 3D Separation Interface with Visual Links.
 Äquivalent zu vorher, jedoch werden nun noch Verbindungen zwischen gleichen Objekten in Realwelt und 3D-Modell angezeigt, so dass der Bezug leichter ist.



Abbildung 48: 3D In-place with Visual Links [79]

- 3D In-place
 Hier sehen wir hier keine räumliche Separierung des Kamerabilds und der 3D-Darstellung: die AR-Anwendung startet mit einer kongruenten Überlagerung, dann entscheidet sich der Nutzer für die die Loslösung der 3D-Modellsicht vom Kamerabild. Er navigiert im 3D-Modell.
- 3D In-place with Visual Links
 Wie zuvor, allerdings mit einem Verlinken gleicher Objekte in der Realwelt und im 3D-Modell.
- 3D Temporal Interface
 In dieser Variante wird das Realbild nicht mehr angezeigt (bzw. nur noch im Kamera-Icon, also eigentlich nicht mehr sichtbar), sondern es er-



folgt ein kompletter Wechsel hin zur 3D-Darstellung, mit der der Nutzer dann interagieren kann. Die reale Nutzerposition ist über ein Kamerasymbol in der 3D-Ansicht gezeigt. Auf Benutzereingabe hin erfolgt eine sanfte (stetige) Transition zwischen 3D-Modellsicht und Kameransicht.

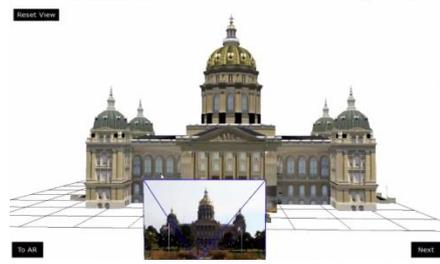


Abbildung 49: 3D Temporal Interface [79]

- 2D Separation Interface
Es erfolgt eine räumliche Trennung auf dem Display zwischen Kamerabild und 2D-Screenshots des 3D-Modells. Die Positionen, aus denen die Screenshots aufgenommen wurden, zeigt ein Auswahlménü, dass diese Perspektiven rund um das Kamerabild herum anordnet. Der Nutzer kann eine Perspektive durch Berühren auswählen; der korrespondierende Screenshot wird dann oben angezeigt.

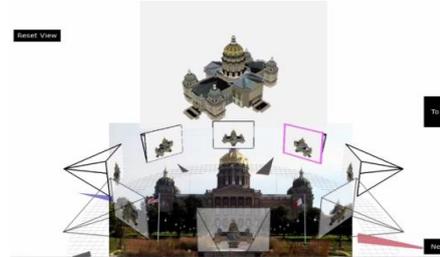


Abbildung 50: 2D Separation Interface [79]

Vorteile:

- Touch-Gesten weithin bekannt
- wird über Touch-Operationen direkt auf der angezeigten Szene interagiert, so ist dieses für gewöhnlich recht intuitiv, da direkt mit dem relevanten Objekt interagiert wird (wenig Einsatz indirekter Interaktionsmetaphern)
- schnell

Nachteile:

- 2D-Eingabe versus 6 Raumfreiheitsgrade
- Probleme bei hintereinander gestaffelt liegenden Objekten
- Präzision mäßig
- beide Hände belegt mit Aufgabe
- HUD verringert die eigentliche AR-Displayfläche
- 3D-Sicht und Kamerabild fallen teils inhaltlich auseinander

Abhängigkeiten:

- gute Abstimmung zwischen 2D-Interaktion und HUD-Menüführung
- ausreichende Displayfläche vorzuhalten, damit AR-Szene und HUD-Menü ausreichend sichtbar Platz finden
- schwierig bei Handschuhen

3.1.3 Interaktion mit der Realumgebung

Interaktion:

Augmented Reality führt die digitale 3D-Welt und Realumgebungen in einer Szene zusammen. Damit liegt es in Hinsicht auf die Interaktion nahe, auch physische Objekte in Betracht zu ziehen. Eine Reihe von Möglichkeiten wurde dazu realisiert.

Beispiele:

Bewegung des Markers / der Referenz I: Das 3D-Modell in Händen

In AR sind die digitalen 3D-Objekte an eine physische Referenz (etwa einen Marker) gebunden. Die Position des digitalen 3D-Modells hängt an der Position der Referenz. Bewegt man somit die Referenz, bewegt sich das digitale 3D-Modell. Diese einfachste Art der physischen Interaktion funktioniert gut für alle Hardware-Ansätze für AR. [80]



Abbildung 51: Der Nutzer hält einen Lego-Karton, der als Marker dient, vor die Kamera. Ein 3D-Modell wird auf dem Karton in Display angezeigt [80]



Bewegung des Markers / der Referenz II: Interaktive Simulation

Hängt nicht die Position, sondern der Inhalt einer AR-Aufprojektion von der Positionierung eines oder mehrerer Objekte ab, so kann deren Position (z. B. per Kamera) erfasst und verarbeitet werden. Das Ergebnis ist etwa eine interaktive Simulation. [81]

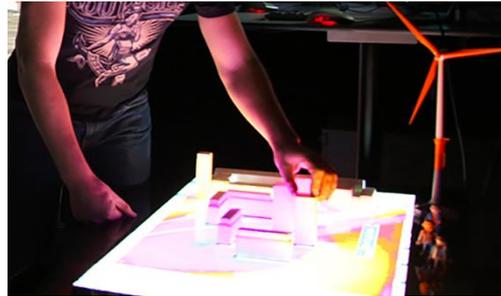


Abbildung 52: Windströmung in einem 3D-Stadtmodell, projiziert auf ein physisches Maßstabsmodell. Der Verlauf und die Stärke der simulierten Windströmung ist dabei abhängig von der Positionierung der Gebäude. Diese ist flexibel; Gebäudepositionen werden von einer Kamera erfasst [81]

Aktivierter Marker:

Es existieren Cross-Media-Ansätze unter Verwendung von AR, bei denen versucht wird, eine Brücke zwischen klassischen Medien wie Katalogen und digitalen Medien wie Websites und Computer-gestützter 3D-Visualisierung zu schlagen. Eine gute Bilderkennung kann so ermittelt ob ein Finger eine bestimmte Stelle in einem Papier-Katalog berührt, woraufhin die damit korrespondierende Information auf einem Bildschirm ausgegeben wird. [82]



Abbildung 53: Ein einfaches System zur Konfiguration eines Nissan-PKW: Der Nutzer legt seinen Finger auf die Stelle im Katalog. Die Kamera erfasst dieses, Der Rechner zeigt die Szene auf dem Bildschirm und ändert das Fahrzeug [82]

Smartphones und Tablet PCs als Referenz

In den vorhergehenden Abschnitten wurde unter anderem gezeigt, wie 3D-Objekte über Ziehgesten auf einem Touch Screen in der Szene verschoben werden können. Es ist aber ebenso möglich, die 3D-Objekte bei Knopfdruck räumlich fest an das Smartphone oder den Tablet PC zu binden: damit erfolgt eine Bewegung des 3D-Objektes, sobald das Hand-Held-Gerät bewegt wird. Die Kopplung kann etwa über die oben bereits kurz genannte Feststelltaste erfolgen. Wird diese losgelassen, verbleibt das 3D-Objekt wieder statisch in der Szene, auch wenn das Hand-Held-Gerät bewegt wird. [78]



Abbildung 54: Der Nutzer drückt das weiße Feld (rechts unten). In diesem Moment hängen die blauen Blöcke fix am Tablet PC und werden mit ihm gemeinsam bewegt. Über das Loslassen des weißen Feldes werden auch die blauen Blöcke losgelassen [78]

Vorteile:

- es ist intuitiv, physische Objekte zu greifen, zu bewegen und damit die AR-Szene zu steuern

Nachteile:

- die Erstellung physischer Objekte und/oder Umgebungen kann aufwändig sein



- es kann schwierig sein, ein physisches Objekt und gleichzeitig zusätzlich einen Tablet PC oder ein Smartphone zu halten

Abhängigkeiten:

- es ergeben sich spezielle Anforderungen an den räumlichen Aufbau von AR-Systemen (Größe des zur Verfügung gestellten Interaktionsraums)

3.2 Spracheingabe

Interaktion:

Spracheingaben werden seit Jahren eingesetzt und immer weiter verbessert. Häufige Anwendungen finden sich in Diktierprogrammen, Fernbedienungen, Fahrzeugnavigation und Telefonie, Telefonauskunftssysteme, Fremdsprachensoftware., Behindertenunterstützung und -kommunikation sowie Mobile Computing. Seit wenigen Jahren machen Sprachassistenten (Amazon Alexa, Google Home, Apple Siri, ...) Furore, die nicht nur Worte erkennen, sondern Sätze interpretieren und Fragen beantworten können. Spracheingaben eignen sich gut für das Erstellen von Notizen, zur Abgabe einfacher Kommandos (z.B. Menübefehle ohne viele Parameter) und zur Quittierung von Eingaben (z.B. Selektion).

Beispiele:

Sprach- & KI-Assistenz-Brillen

Eine erste Alexa-Brille könnte noch in diesem Jahr vorgestellt werden. Das Amazon-Konzept unterscheidet sich dabei grundlegend von dem Ansatz der Google Glass: Anders als etwa bei Googles Glass-Projekt verzichtet Amazon in seiner Brille auf eine Kamera und ein Display. Amazons Smart Glass wird mit Kopfhörern ausgestattet sein, die Klang über Knochenschall ausstrahlen. Die Brille wird ein Mikrofon haben, um Alexa Fragen zu stellen oder Anweisungen zu geben. Der Träger der Brille könnte Alexa dazu verwenden, Fragen zu beantworten, Dinge zu erledigen oder zu telefonieren. [83][84][85]



Abbildung 55: Die Fa. NORTH, mittlerweile von Google geschluckt, brachte schon vor wenigen Jahren eine Smart Glass mit dem Assistenzsystem Alexa von Amazon heraus.



Abbildung 56: Auch Amazon entwickelte bereits eine eigene Smart Glass „Echo Frames“ mit dem Assistenzsystem Alexa.

Vorteile:

- nur mit interaktivem Fingerring oder ohne weiteres Eingabegerät einfach verwendbar; Hände bleiben frei

Nachteile:

- Kommandos müssen auswendig bekannt sein
- Hintergrundgeräusche können stören
- Interpretation bei Stimmengewirr schwierig
- je nach Inhalt kann die Eingabe langwierig sein

Abhängigkeiten:

- da die Interpretation der Sprache auf einem leistungsfähigen Rechner(-Cluster) erfolgen muss, ist eine schnelle Internetverbindung Pflicht



3.3 Eye Tracking

Interaktion: Eye Tracking ist die Erfassung der Blickrichtung der Augen um festzustellen, wohin der Nutzer sieht. Anwendungen, die auf die bewusste Steuerung einer Anwendung per Eye Tracking abzielen, sind eher selten.

Beispiele: Selektion per Blickrichtung
Eye Tracking kann eingesetzt werden, um zwischen verschiedenen Objekten im Sichtbereich zu wählen. Die Quittierung kann über die Blickdauer, Knopfdruck oder per Spracheingabe erfolgen.[86]

Kollaborationsunterstützung

Weiterhin könnte Eye Tracking im Rahmen einer kooperativen Anwendung interessant sein: arbeiten ein Smart-Glass-Nutzer und ein entfernter Experte am Desktop zusammen, teilen sie beide den Blick des Smart-Glass-Nutzers, dann wäre es sinnvoll für den entfernten Experten zu wissen, wohin der Smart-Glass-Nutzer gerade schaut, um dessen Blick gezielt auf Wichtiges zu lenken (z.B. "Sieh weiter nach rechts!").



Abbildung 57: Anwendungsbeispiel für Eye Tracking: Auswahl eines 2D-Barcodes unter vielen in Kontext der Paketlogistik ; Blick durch das Smart-Glass-Display [86]

Vorteile:

- Eingabe ohne weiteres Eingabegerät
- die Hände bleiben frei

Nachteile:

- taugt nur für sehr einfache Eingabekommandos: ja/nein oder Selektion
- Blickrichtung darf nicht unwillkürlich wechseln
- starrer Blick kann auf Dauer anstrengend sein
- völlig inakzeptabel, wenn hohe visuelle Aufmerksamkeit beim Nutzers notwendig ist (etwa beim Führen eines Fahrzeugs)

Abhängigkeiten:

- Eye Tracking wird gewöhnlich für Aufmerksamkeitsanalysen, Design-Tests, Usability-Untersuchungen oder die Marktforschung eingesetzt. In dem Kontext sind auch AR-Systeme auf Smart-Glass-Basis denkbar.
- Eye Tracking ist weiterhin für das Foveated Rendering notwendig: dabei wird Render-Performance auf die Bereiche konzentriert, die der Nutzer aktuell betrachtet. Dafür muss seine Blickrichtung bekannt sein.

3.4 Lageänderung

Interaktion: Im Fall der Lageänderung erfolgt die Interaktion schlicht durch die Änderung der Position des AR-Systems. Da der Inhalt eines AR-Systems immer Kontext-sensitiv und/oder geo-referenziert ist, ergeben sich damit automatisch neue Inhalte.

Beispiele: Führen eines mit AR ausgestatteten Fahrzeugs
Durch das Fahren (=Lageänderung) werden andere Objekte sichtbar und/oder es ergeben sich andere Perspektiven auf Objekte.

Im Fall der Navigationsassistenz, wenn also der Nutzer gezielt an eine bestimmte Position geführt werden soll, sind auf den Geh-/Fahrweg überlagerte Richtungspfeile die verbreitete und weithin verstandene Metapher.[87]



Abbildung 58: HUD im PKW mit Status- und Navigationsinformationen [87]
Kontext-sensitive und/oder geo-referenzierte Inhalte werden positionsabhängig dynamisch ein- und ausgeblendet.



Bewegung mit der Smart Glass, mit dem Tablet PC oder mit dem Smartphone

Wird der Nutzer nicht - wie zuvor - in seiner Bewegungsrichtung geführt, sondern exploriert er seine Umgebung selbst aktiv auf der Suche nach interessanten Inhalten, ist die eigentlich interessante Fragestellung die Art der interaktiven Nutzerführung. [88]

Dem Nutzer muss gegebenenfalls bekannt gemacht werden, wo sich interessante Inhalte befinden und wo er sich in Relation zu diesen Inhalten befindet.

Eine Minimap (kleine Landkarte) zeigt das Referenzobjekt (dieses ist das zentrale Objekt welches er betrachtet, z.B. eine Maschine, ein Zimmer), Pols, die eigene Position und den Sichtkegel aus der Ich-Perspektive. Damit kann dem Nutzer bereits klar werden, dass es interessante Inhalte außerhalb seines Sichtbereichs gibt. Die Minimap wird in einem kleinen Bereich des eigentlichen AR-Sichtfensters eingetragen.

Darüber hinaus können Pols, die außerhalb des Sichtbereichs liegen, über eine gesonderte Symbolik am Rand des Sichtfensters in Lage-richtung kenntlich gemacht werden.

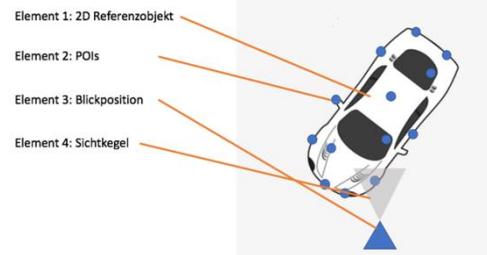


Abbildung 59: Konzept einer Minimap mit Referenzobjekt, Pols, Blickposition und Sichtkegel [88]

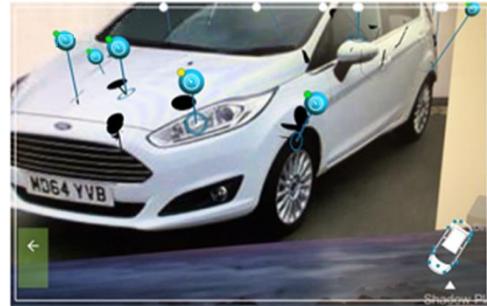


Abbildung 60: AR-Oberfläche zur räumlichen Exploration mit Minimap (unten rechts), sichtbaren Pols (blau) und Pols außerhalb des Sichtbereichs (weiße Punkte auf der weißen Linie) [88]

Vorteile:

- das aktive Führen des AR-Systems ist intuitiv
- der Benutzer kann aktiv vom AR-System mit Informationen versorgt werden, auch wenn er diese nicht gezielt aufruft

Nachteile:

- die ständige Bewegung kann ermüdend sein
- man kann Inhalte übersehen
- die gezielte Suche nach Inhalten ist so wenig praktikabel
- falls Inhalte räumlich nicht erreichbar sind, sind sie dann auch nicht auf diese Weise aufrufbar

Abhängigkeiten:

- die Minimap muss mit der Kenntnis des Referenzobjekte und allen vorhandenen Informationen erstellt werden

3.5 Computer-Supported Cooperative Work

Hier gelten die gleichen Überlegungen, die bereits im gleichlautenden Abschnitt im Kapitel zu Virtual Reality (siehe Abschnitt 2.3 auf Seite 17) angestellt wurden.



4. Empfehlungen für das User Interface Design für VR und für AR

4.1 Relevante Normen, Standards, Richtlinien

Eine ganze Reihe verschiedener Normungsorganisationen, Industrieverbände, offene Entwicklergemeinschaften und auch Einzelunternehmen haben sich daran gemacht, wichtige Bereiche aus dem Themenkomplex User Interface Design für Virtual Reality und für Augmented Reality zu bearbeiten, um benötigte Normen, Standards und Richtlinien zu entwickeln. Daneben gibt es eine ganze Reihe von Bestandsarbeiten benachbarter Themenfelder – beispielsweise andere optische Geräte, die keine Head Mounted Displays sind -, deren Inhalte sich zumindest teilweise auf VR und AR übertragen lassen oder die zumindest wichtige Hinweise darauf geben können, was relevante Aspekte der Normierungsarbeit sein müssten. Die Aktivitäten umfassen Hardware, Software und konzeptionelle Aspekte des User Interface Designs.

Organis.	Nr.	Jahr	Titel	Beschreibung
Apple	-	-	Apple Human Interface Guidelines	Apple Human Interface Guidelines
ASTM	F 1181	1988	Standard Test Method for Measuring Binocular Disparity in Transparent Parts	Prüfverfahren zur Messung der binokularen Disparation in transparenten Teilen
DIN	SPEC 91333	2016	Berührungslose Gestensteuerung zur Mensch-System-Interaktion	Contactless gesture control for human-system interaction
DIN EN ISO	92419	2020	Grundsätze der ergonomischen Gestaltung assistiver Systeme	Diese Norm aus dem Bereich der Ergonomie der Mensch-System-Interaktion enthält allgemeine Grundsätze ergonomischer Gestaltung assistiver Systeme und stellt einen Rahmen bereit für die Anwendung dieser Grundsätze bei der ergonomischen Gestaltung, Analyse und Bewertung von assistiven Systemen. Die Grundsätze werden ohne Bezug auf einen konkreten Nutzungskontext (zum Beispiel Benutzer, Arbeitssituation, Anwendung, Arbeitsumgebung oder Technik) dargestellt.
DIN EN ISO	14915-1	2002	Software-Ergonomie für Multimedia-Benutzungsschnittstellen - Teil 1: Gestaltungsgrundsätze und Rahmenbedingungen (ISO 14915-1:2002)	Software-Ergonomie für Multimedia-Benutzungsschnittstellen - Teil 1: Gestaltungsgrundsätze und Rahmenbedingungen
DIN EN ISO	14915-2	2003	Software-Ergonomie für Multimedia-Benutzungsschnittstellen - Teil 2: Multimedia-Navigation und Steuerung (ISO 14915-2:2003)	Software-Ergonomie für Multimedia-Benutzungsschnittstellen - Teil 2: Multimedia-Navigation und Steuerung
DIN EN ISO	14915-3	2003	Software-Ergonomie für Multimedia-Benutzerschnittstellen - Teil 3: Auswahl und Kombination von Medien	Software-Ergonomie für Multimedia-Benutzungsschnittstellen - Teil 3: Auswahl und Kombination von Medien
DIN EN ISO	9241-1	2002	Ergonomische Anforderungen für Büroaktivitäten mit Bildschirmgeräten - Teil 1: Allgemeine Einführung	Ergonomische Anforderungen an Bildschirmtätigkeit - Einführung
DIN EN ISO	9241-11	2018	Ergonomie der Mensch-System-Interaktion - Teil 11: Gebrauchstauglichkeit: Begriffe und Konzepte	Ergonomische Anforderungen an Bildschirmtätigkeit - Gebrauchstauglichkeit
DIN EN ISO	9241-110	2014	Ergonomie der Mensch-System-Interaktion - Teil 411: Bewertungsverfahren für die Gestaltung von physikalischen Eingabegeräten	Dieser Teil von ISO 9241 legt Bewertungsverfahren für die Gestaltung von physikalischen Eingabegeräten für interaktive Systeme fest. Er gibt Anleitung zur Prüfstellenbeurteilung der Konformität von Tastaturen, Mäusen, Pucks, Joysticks, Rollkugeln (Trackballs), Touchpads, Tablets/Overlays, Berührungsbildschirmen (Touchscreens), Griffeln und Lichtgriffeln mit ISO 9241-410.
DIN EN ISO	9241-110	2020	Ergonomie der Mensch-System-Interaktion - Teil 110: Interaktionsprinzipien	Ergonomie der Mensch-System-Interaktion - Teil 110: Interaktionsprinzipien
DIN EN ISO	9241-112	2017	Ergonomie der Mensch-System-Interaktion - Teil 112: Grundsätze der Informationsdarstellung	Dieses Dokument stellt ergonomische Gestaltungsgrundsätze für interaktive Systeme im Zusammenhang mit der softwaregesteuerten Informationsdarstellung durch Benutzungsschnittstellen auf. Es gilt für die drei Hauptsinnesmodalitäten (visuell, akustisch, taktil/haptisch), die üblicherweise in der Informations- und Kommunikationstechnik verwendet werden.



DIN EN ISO	9241-12	2000	Ergonomische Anforderungen an Bildschirmtätigkeit - Informationsdarstellung	Ergonomische Anforderungen an Bildschirmtätigkeit - Informationsdarstellung
DIN EN ISO	9241-161	2016	Ergonomie der Mensch-System-Interaktion - Teil 161: Leitfaden zu visuellen User-Interface-Elementen	DIN EN ISO 9241-161 beschreibt visuelle User-Interface-Elemente, die in Software verwendet werden, und bietet Anforderungen und Empfehlungen dazu, wann und wie diese anzuwenden sind. Dieser Teil von ISO 9241 behandelt Softwarekomponenten interaktiver Systeme, mit denen die Mensch-System-Interaktion im Hinblick auf die grundlegenden Aspekte der Interaktion nutzbar gemacht wird. Dieser Teil von ISO 9241 enthält eine umfassende Liste generischer visueller User-Interface-Elemente, und zwar unabhängig von speziellen Eingabeverfahren, Visualisierungen und Plattform beziehungsweise Implementierungstechnologien.
DIN EN ISO	9241-210	2019	Ergonomie der Mensch-System-Interaktion - Teil 210: Menschzentrierte Gestaltung interaktiver Systeme	Dieses Dokument legt Anforderungen fest und gibt Empfehlungen für menschenzentrierte Gestaltungsgrundsätze und -aktivitäten für den gesamten Lebenszyklus rechnergestützter interaktiver Systeme. Es ist für Manager von Gestaltungsprozessen gedacht und behandelt Mittel, mit Hilfe derer sowohl Hardware als auch Softwarekomponenten von interaktiven Systemen die Mensch-System-Interaktion verbessern können.
DIN EN ISO	9241-400	2007	Ergonomie der Mensch-System-Interaktion - Teil 400: Grundsätze und Anforderungen für physikalische Eingabegeräte	In der Norm DIN EN ISO 9241-400 werden ergonomische Grundsätze für die Gestaltung von Eingabegeräten und deren Benutzung definiert und formuliert. Diese Grundsätze müssen bei der Entwicklung von Empfehlungen für die Gestaltung von Produkten und deren Benutzung herangezogen werden. Die Norm legt auch Merkmale von Eingabegeräten fest, die für die Gebrauchstauglichkeit von Bedeutung sind, einschließlich funktionaler, elektrischer, mechanischer und für die Instandhaltung und Sicherheit bedeutsamer Merkmale.
DIN EN ISO	9241-960	2018	Rahmen und Anleitung zur Gestensteuerung	Diese Norm gibt eine Anleitung zur Auswahl und Erstellung von Gesten, die bei Gestenschnittstellen angewendet werden. Sie behandelt die Gebrauchstauglichkeit von Gesten und stellt Informationen zu deren Gestaltung - den Gestaltungsprozess und die relevanten, zu berücksichtigenden Parameter - bereit. Sie stellt zusätzlich eine Anleitung dazu bereit, wie Gesten dokumentiert werden sollten. Diese Norm behandelt von Menschen dargestellte Gesten und nicht das durch diese Gesten verursachte Systemverhalten.
EU-Richtlinie	90/270	1990	Richtlinie des Rates vom 29. Mai 1990 über die Mindestvorschriften bezüglich der Sicherheit und des Gesundheitsschutzes bei der Arbeit an Bildschirmgeräten	Bildschirmrichtlinie
IEC	62908-12-20 ED1	2018	Touch and interactive displays - Part 12-20: Measuring methods of touch displays - Multi-touch performance	Touch and interactive displays - Part 12-20: Measuring methods of touch displays - Multi-touch performance
IEC	62977-3-4 ED1	2022	Electronic displays – Part 3-4: Evaluation of optical performance – High dynamic range displays	Electronic displays – Part 3-4: Evaluation of optical performances – High dynamic range displays
IEC	63145-50	2021	User interaction	User interaction
IEC	63203-101-1 ED1	2021	Wearable electronic devices and technologies – Part 101-1: Terminology	Wearable electronic devices and technologies – Part 101-1: Terminology
IEC	63211-2-12 ED1	2020	Durability test methods for electronic displays - Part 2-12: Environmental tests - Environmental conditions of use, storage and transportation of electronic displays	Durability test methods for electronics displays - Part 2-12: Environmental tests – Environmental conditions of use, storage and transportation of electronic displays
ISO	14915	2002	Software ergonomics for multimedia user interfaces -- Part 1: Design principles and framework	ISO 14915-1:2002 establishes design principles for multimedia user interfaces and provides a framework for handling the different considerations involved in their design. It addresses user interfaces for applications that incorporate, integrate and synchronize different media. This includes static media such as text, graphics or images, and dynamic media such as audio, animation, video or media related to other sensory modalities. Detailed design issues within a single medium (e.g. the graphical design of an animation sequence) are only addressed as far as they imply ergonomic consequences for the user.
ISO	15227	2000	Optics and optical instruments — Microscopes — Testing of stereomicroscopes	Optics and optical instruments - Microscopes - Testing of stereo microscopes



ISO	24157	2008	Ophthalmic optics and instruments — Reporting aberrations of the human eye	Ophthalmic optics and instruments - Reporting aberrations of the human eyeametropia: ;
ISO	10936-1	2017	Optics and photonics — Operation microscopes — Part 1: Requirements and test methods	Optics and optical instruments - Operation microscopes - Requirements and test methods
ISO	10936-2	2010	Optics and optical instruments — Operation microscopes — Part 2: Light hazard from operation microscopes used in ocular surgery	Optics and photonics - Operation microscopes - Light hazard from operation microscopes used in ocular surgery
ISO	11884-1	2006	Optics and photonics — Minimum requirements for stereomicroscopes — Part 1: Stereomicroscopes for general use	Optics and photonics - Minimum requirements for stereomicroscopes - Stereomicroscopes for general use
ISO	14490-2	2005	Optics and optical instruments — Test methods for telescopic systems — Part 2: Test methods for binocular systems	Optics and optical instruments - Test methods for telescopic systems - Test methods for binocular systems
ISO	14490-8	2011	Optics and optical instruments — Test methods for telescopic systems — Part 8: Test methods for night-vision devices	Optics and optical instruments - Test methods for telescopic systems - Test methods for night-vision devices
ISO	15004-2	2007	Ophthalmic instruments — Fundamental requirements and test methods — Part 2: Light hazard protection	Ophthalmic instruments - Fundamental requirements and test methods - Light hazard protection
ISO/DIS	16321-1	2021	Eye and face protection for occupational use — Part 1: General requirements	Eye and face protection for occupational use — Part 1: General requirements
ISO/IEC	25060	2010	Systems and software engineering -- Systems and software product Quality Requirements and Evaluation (SQuaRE) -- Common Industry Format (CIF) for usability: General framework for usability-related information	ISO/IEC TR 25060:2010 describes a potential family of International Standards, named the Common Industry Formats (CIF), that document the specification and evaluation of the usability of interactive systems. It provides a general overview of the CIF framework and contents, definitions, and the relationship of the framework elements. The intended users of the framework are identified, as well as the situations in which the framework may be applied. The assumptions and constraints of the framework are also enumerated.
ISO/IEC	25062	2006	Software engineering -- Software product Quality Requirements and Evaluation (SQuaRE) -- Common Industry Format (CIF) for usability test reports	ISO/IEC 25062:2006 provides a standard method for reporting usability test findings. The format is designed for reporting results of formal usability tests in which quantitative measurements were collected, and is particularly appropriate for summative/comparative testing. The CIF does not indicate how to perform a usability test but provides guidance on how to report the results of a usability test. The CIF targets two audiences: usability professionals and stakeholders in an organization. Stakeholders can use the usability data to help make informed decisions concerning the release of software products or the procurement of such products.
ISO/IEC	25063	2014	Systems and software engineering -- Systems and software product Quality Requirements and Evaluation (SQuaRE) -- Common Industry Format (CIF) for usability: Context of use description	ISO/IEC 25063:2014 describes the Common Industry Format (CIF) for context of use descriptions and specifies the contents of both high-level and detailed descriptions of the context of use for an existing, intended, implemented or deployed system. A context-of-use description includes information about the users and other stakeholder groups, the characteristics of each user group, the goals of the users, the tasks of the users, and the environment(s) in which the system is used.
ISO/IEC	25064	2013	Systems and software engineering -- Software product Quality Requirements and Evaluation (SQuaRE) -- Common Industry Format (CIF) for usability: User needs report	ISO/IEC 25064:2013 describes the Common Industry Format (CIF) for user needs reports, and provides specifications for their contents and format, including the content elements to be provided. User needs reports include both the collection and documentation of information from various sources relevant to user needs, and the analysis and integration of this information into consolidated user needs. User needs reports are applicable to software and hardware systems, products or services (excluding generic products, such as a display screen or keyboard). The content elements are intended to be used as part of system-level documentation resulting from development processes such as those in ISO 9241-210 and ISO/IEC JTC 1/SC 7 process standards. User needs are a major input into the establishment of user requirements.
ISO/IEC	30113-1	2015	User interface - Gesture-based interfaces across devices and methods	ISO/IEC 30113-1:2015 defines a framework and guidelines for gesture-based interfaces across devices and methods in supporting interoperability. NOTE Some of these devices include



				mice, touch screens, touch pads, 3D mice, joysticks, game controllers, wired gloves, depth-aware cameras, stereo cameras, Web cameras. ISO/IEC 30113-1:2015 does not define or require specific technology for recognizing gesture of users. It focuses on the description of a gesture and its functions for utilizing ICT systems. NOTE Operation of a physical keyboard is not addressed in this part of ISO/IEC 30113.
offene Community	Styleguide IBM-CUA	2014	CUA	Styleguide IBM-CUA
offene Community	Styleguide OPEN LOOK	1989	OPEN LOOK	offene Community Styleguide OPEN LOOK
offene Community	Styleguide OSF-Motif	2017	OSF-Motif	offene Community Styleguide OSF-Motif
Oracle Corporation	User Interface Design Pattern Library	-	Oracle User Interface Design Pattern Library	Pattern Library um die am häufigsten auftretenden User Interface Design Probleme zu lösen, aufgeteilt in 11 Kategorien.
Pixar	Universal Scene Description (USD)	2019	Pixar USD (Universal Scene Description)	Universal Scene Description (USD) is the first publicly available software that addresses the need to robustly and scalably interchange and augment arbitrary 3D scenes that may be composed from many elemental assets.
SAE	ARP 4032B	2013	Human Engineering Considerations in the Application of Color to Electronic Aircraft Displays	Human Engineering Considerations in the Application of Color to Electronic Aircraft Displays
SAE	AS 8055	2015	Minimum Performance Standard for Airborne Head Up Display (HUD)	A Minimum Performance Standard for Airborne Head Up Display (HUD)
Usability in Germany e.V.	Glossar zu Usability und User Experience	-		Glossar zu Usability und User Experience
Yahoo Developer Network	Yahoo Design Pattern Library	-		User Interface Patterns für die Bereiche Layout, Navigation, Selection, Rich Interaction und Social.

Abbildung 61: Relevante Normen, Standards und Richtlinien zur Beachtung beim User Interface Design für Virtual Reality und Augmented Reality

4.2 V/AR-übergreifende Empfehlungen, interaktive Systeme unspezifiziert

Fast alle der in den vorherigen Kapiteln gezeigten Beispiele von V/AR-User-Interfaces geben einen Praxisstand von V/AR-Systemen wieder, die sich im Einsatz befinden. Hier finden wir also im Grunde evaluierte Best Practices, wie funktionierende V/AR-Lösungen - spezifisch nach Hardware- und Aufgabenkontext - aussehen können. Diese Beispiele können damit grundsätzlich als Vorlage zur Entwicklung eigener V/AR-Anwendungen und -Systeme dienen.

Bei der Entwicklung oben angeführter V/AR-Systeme verfolgten die Entwickler zumeist eine ganze Reihe von Entwicklungsrichtlinien die ihnen dabei half, effizient und intuitiv benutzbare interaktive Systeme zu gestalten.

Heuristiken

Zieht man eine Heuristikanalyse zur Beurteilung der Usability eines interaktiven Systems zu Rate, so kann man sich an folgender Liste der zehn wichtigsten Usability-Heuristiken orientieren:

- Sichtbarkeit des Systemstatus
- Gemeinsamkeiten: System und reale Welt
- Kontrolle und Freiheit beim Benutzer (undo, redo)
- Konsistenz und Standards
- Fehlerprävention (durch durchdachtes Design)
- Erinnert werden besser als selber erinnern müssen
- Flexibilität und Effizienz bei der Benutzung
- Ästhetisches und minimalistisches Design
- Beim Erkennen und Beheben von Fehlern helfen
- Hilfe und Dokumentation

LaViola/Kruiff/McMahan/Bowman/Pouprev

LaViola/Kruiff/McMahan/Bowman/Pouprev geben speziell VR-/AR-Entwicklern folgende Hinweise mit auf den Weg [108]:

- Kabel etc. aus dem Weg nehmen und Funklösungen nach Möglichkeit einsetzen; Gewicht soweit es geht reduzieren
- Physische und virtuelle Grenzen einsetzen um den Nutzer und die Ausrüstung in einem sicheren Arbeitsbereich zu halten
- Begrenze die Interaktion im realen Raum; biete Ablagen für Interaktionsgeräte
- Sorge für Hygiene (man denke nur an die Ablageflächen von HMDs)
- Lege die Sessions kurz (also zeitlich begrenzt) aus und ermögliche Arbeitspausen
- Lege das System für eine bequeme Arbeitshaltung aus
- Stelle zeitliche und räumliche Übereinstimmung zwischen Ausgabemodalitäten sicher
- Verwende Einschränkungen
- Setze haptische Eingabegeräte und passives Force Feedback ein
- Ziehe Analogien zu realen Werkzeugen und Arbeitsmethoden um virtuelle zu konzipieren
- Ziehe Analogien vom 2D-Interaktionsdesign
- Berücksichtige Alternativen zu fotorealistischer Ästhetik

4.3 Empfehlungen für gute VR-Usability

Dörner / Broll / Grimm / Jung

Dörner et al. [107] geben eine Reihe von Entwurfskriterien für Navigationstechniken an die sie auch an Bowman [108] anlehnen:

- Virtuelle Landmarken sollen sich visuell deutlich von der Szene hervorheben und sich an geeigneter, gut sichtbarer Position befinden.
- Teleportation, d.h. die unmittelbare Änderung der Kameraposition sollte man vermeiden, da der Nutzer stark irritiert wird. Sanfte Übergänge bei der Bewegung sind hilfreich für die Entwicklung einer mentalen Karte.
- Bei der Bewegungskontrolle sollten Techniken und Eingabegeräte eingesetzt werden, die physiologische Bewegungshinweise unterstützen.
- Karten unterstützen die Orientierung sehr gut, wenn diese lesbar sind, die Umgebung mit der aktuellen Position des Nutzers repräsentieren und geeignet orientiert sind. Wichtig ist die passende Größe, so dass die Karte die Umgebung nicht verdeckt.
- Techniken für das Manövrieren müssen zuerst einfach nutzbar sein, um die grobe Position zu erleichtern und später zusätzlich eine exakte Ausrichtung ermöglichen.
- Die Bewegungskontrolle sollte passend zur Anwendung, dem Ziel des Nutzers und den technischen Rahmenbedingungen (z.B. Ein-/Ausgabegeräte) der Virtuellen Umgebung ausgewählt werden.
- Natürliche und magische Interaktionstechniken können gleichermaßen hilfreich sein. Daher sollte man stets beide Möglichkeiten beim Interaktionsdesign betrachten. Die Kompatibilität zu anderen Techniken (z.B. für Manipulation) sollte dabei beachtet werden.
- Bei unterschiedlichen Aufgaben zur Bewegungskontrolle können auch unterschiedliche Interaktionstechniken sinnvoll sein. Dabei sollte berücksichtigt werden, dass Nutzer unterschiedliche Fähigkeiten besitzen können. Hilfreich ist es, einfache und komplexe Navigationstechniken anzubieten, wenn die Nutzerprofile stark differieren.
- Für Exploration und Suche sind Steuertechniken und Walking gut geeignet, bei zielbasierten Aufgaben („gehe zu X“) sind routenbasierte Verfahren besser.
- Wenn die Navigation nur eine begleitende Benutzeraufgabe ist, sollte man die Interaktionstechnik so einfach wie möglich sein, damit der Nutzer sich auf die wichtigen Aufgaben konzentrieren kann.
- Bei komplexen Interaktionstechniken sollten Nutzer diese trainieren können, um Übersichtswissen zu generieren.

Ebenso erläutern Dörner et al., wie ein Prozess zur Nutzerorientierten Entwicklung von VR-Interaktionen aussehen kann (siehe Abbildung 62).

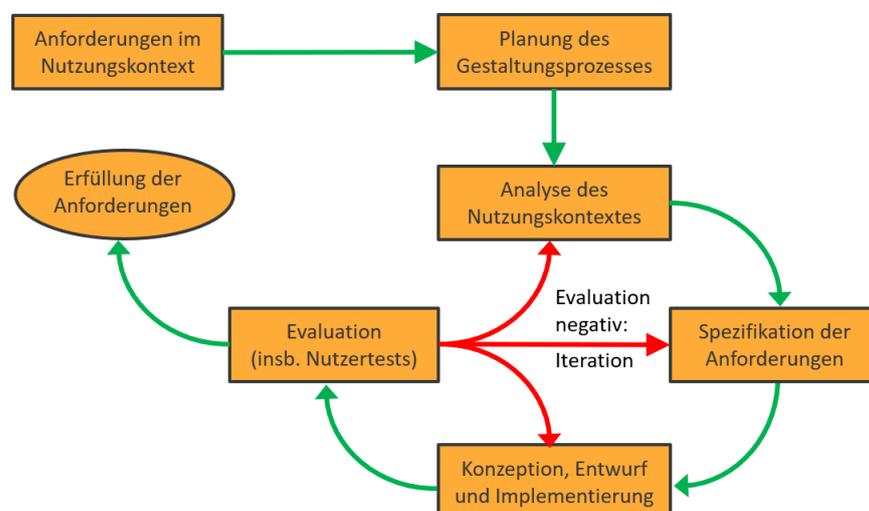


Abbildung 62: Iterativer Entwicklungsprozess entsprechend ISO 9241-210

Zentral für die nutzerorientierte Entwicklung ist eine systematische Vorgehensweise, die geeignet ist, sowohl einzelne benutzbare Interaktionstechniken als auch komplette Systeme zu entwickeln. Als „Best Practice“ haben sich dabei iterative Vorgehensweisen etabliert, welche die Entwicklung in mehrere Phasen aufteilen und unter Berücksichtigung der Resultate aus Nutzertests iteriert werden. In der Literatur finden sich verschieden iterative Prozessmodelle, die teilweise den Status von ISO-Standards haben (z. B. die DIN EN ISO 9241.210, oft auch als deren überholte Vorgängerfassung ISO-13407 referenziert, oder ISO/PAS 18152). In der Praxis wird bei VR-Projekten oft eine an die Besonderheiten des aktuellen Projekts angepasste Vorgehensweise verwendet.

Iterative Entwicklungsprozesse basieren auf einer zyklischen Abfolge von Entwurfsaktivitäten. Die Abfolge dieser Aktivitäten wird so oft wiederholt, bis ein zufriedenstellendes Ergebnis erreicht wurde. Ziel ist es, möglichst frühzeitig und wiederholt Feedback von Nutzern einzuholen und sich davon im Entwicklungsprozess leiten zu lassen. Dem eigentlichen iterativen Entwurfsprozess ist oft eine Projektvorbereitung vorgelagert. Während der Projektvorbereitung sollten folgende Punkte adressiert werden:

- Definition des Entwicklungsziels
- Festlegung eines (ggf. angepassten) Entwicklungsprozesses
- Aufstellen des Entwicklungsteams
- Auswahl der Entwicklungswerkzeuge
- Planung von Nutzerbeteiligung
- Festlegen von Qualitätskriterien, z. B. Erlernbarkeit, Effizienz, Effektivität, Fehlerrate, Nutzerzufriedenheit, Nutzererlebnis (User Experience)

In der DIN EN ISO 9241-210 wird das Vorgehen in vier zentral Entwurfsaktivitäten strukturiert:

- Analyse des Nutzungskontextes
- Spezifikation von Anforderungen
- Konzeption, Entwurf und Implementierung
- Evaluation (insbesondere Nutzertests)



Jerald [109]

Jason Jerald hat sein Lehrbuch zu VR in eine Reihe von Kapiteln aufgeteilt, da fast sämtlich mit einem Abschnitt zu „*Design Guidelines*“ abschließen, so auch das Kapitel „*Interaction*“. Diese zusammenfassenden Hinweise lassen sich hervorragend als Gestaltungsempfehlungen interpretieren. Folgende Designrichtlinien für die gelungene Interaktion stelle Jerald dabei auf:

So wie es in der realen Welt kein einzelnes Werkzeug gibt, das jedes Problem löst, gibt es kein für alle VR-Anwendungen geeignetes einzelnes Eingabegerät, Konzept, Interaktionspattern oder geeignete einzelne Interaktionstechnik. Obwohl es im Allgemeinen besser ist, dieselbe Interaktionsmetapher für verschiedene Aufgabentypen zu verwenden, ist dies nicht immer möglich oder angebracht. Interaktionsdesigner sollten die spezifische Aufgabe bei der Auswahl, Änderung oder Erstellung neuer Interaktionen berücksichtigen.

A) Menschzentrierte Interaktion

a) Intuitivität

- Konzentrieren Sie sich darauf, Schnittstellen intuitiv zu gestalten, also Schnittstellen zu entwerfen, die schnell verstanden, genau vorhergesagt und einfach verwendet werden können.
- Verwenden Sie Interaktionsmetaphern (Konzepte, die spezifisches Wissen nutzen, das Benutzer bereits über andere Domänen haben), um Benutzern zu helfen, schnell ein mentales Modell der Funktionsweise einer Schnittstelle zu entwickeln.
- Binden Sie in die virtuelle Welt alles ein, was notwendig ist, um den Benutzern zu helfen, ein konsistentes konzeptionelles Modell der Funktionsweise der Welt zu bilden (z. B. Tutorials innerhalb der Welt). Benutzer sollten sich nicht auf externe Erklärungen verlassen müssen.

b) Normans [110] Prinzipien des Interaktionsdesigns

- Praktizieren Sie menschzentriertes Design und befolgen Sie bekannte allgemeine Prinzipien, um Benutzern zu helfen, vereinfachte mentale Modelle der Funktionsweise der Interaktionen zu erstellen. Dazu gehören konsistente Angebote, eindeutige Bezeichner, Einschränkungen um Handlungen zu leiten und die Interpretation zu erleichtern, offensichtliche und verständliche Zuordnungen, sowie sofortiges und nützliches Feedback.

i) Interaktionsangebote / Affordanzen

- Denken Sie daran, dass ein Interaktionsangebot keine reine Eigenschaft eines Objekts ist, sondern eine Beziehung zwischen diesem Objekt und einem Benutzer. Das Interaktionsangebot hängen nicht nur vom angebotenen Objekt ab, sondern auch vom Benutzer; Angebote können für Benutzer mit unterschiedlichen Eigenschaften unterschiedlich sein.

ii) Bezeichner [signifiers]

- Interaktionsangebote sind durch Bezeichner wahrnehmbar zu machen. Ein guter Bezeichner informiert den Benutzer, was möglich ist, bevor er interagiert.
- Machen Sie dem Benutzer den Status des aktuellen Interaktionsmodus deutlich.

iii) Einschränkungen [constraints]

- Fügen Sie gegebenenfalls Einschränkungen hinzu, um mögliche Aktionen zu begrenzen und die Genauigkeit und Effizienz zu verbessern.
- Verwenden Sie Einschränkungen, um den Realismus zu erhöhen (z. B. erlauben Sie Benutzern nicht, durch Wände zu gehen).
- Gehen Sie nicht davon aus, dass reale Regeln wie die Schwerkraft immer geeignet sind. Beispielsweise erleichtert das Aufhängen von Werkzeugen im Raum um den Benutzer herum das Greifen.

- Verwenden Sie Bezeichner mit Bedacht, um zu verhindern, dass Benutzer falsche Annahmen über Einschränkungen treffen. Wenn ein Benutzer nicht weiß, was er tun soll, wird er effektiv eingeschränkt.
- Machen Sie Einschränkungen konsistent, damit das so Gelernte auf weitere Aufgaben übertragen werden kann.
- Ziehen Sie in Erwägung, erfahrenen Benutzern zu erlauben, Einschränkungen für erweiterte Interaktionen zu entfernen.

iv) Rückmeldung [feedback]

- Falls Haptik nicht verfügbar ist, verwenden Sie ein Ersatz-Feedback. Verwenden Sie beispielsweise Audio und grafische Hervorhebungen, um das Berühren von Objekten anzuzeigen.
- Überfordern Sie die Benutzer nicht mit zu viel Feedback.
- Erwägen Sie, Informationen vor dem Benutzer im Rumpf-Referenzrahmen in der Nähe der Taille zu platzieren, anstatt auf einem Head-Up-Display im Kopf-Referenzrahmen.
- Wenn ein Head-Up-Display im Kopf-Referenzrahmen verwendet werden muss, präsentieren Sie nur minimale Informationen auf dem Display.
- Bieten Sie die Möglichkeit, Widgets (Mini-Anwendungen), Werkzeuge und Schnittstellenhinweise ein-/auszuschalten (oder sichtbar/unsichtbar zu machen).

v) Zuordnungen [mappings]

- Um Leistung und Zufriedenheit zu maximieren, achten Sie auf die Konformität von Richtung, Nullstellung und Zeit.
- Konzentrieren Sie sich zunächst darauf, Zuordnungen zu erstellen, die richtungskonform sind (die Richtung des sensorischen Feedbacks sollte mit der Richtung des Schnittstellengeräts übereinstimmen), damit die Benutzer Bewegungen als Reaktion auf ihre physischen Eingaben antizipieren können.
- Halten Sie bei der direkten Interaktion die Positionskonformität ein (d. h. stellen Sie sicher, dass die virtuelle Position von Objekten mit der physischen Position des Geräts übereinstimmt).
- Wenn die Positionskonformität nicht geeignet ist, verwenden Sie die Nullstellungskonformität (das virtuelle Objekt sollte an seinen ursprünglichen Standort zurückkehren, wenn das Gerät an seinen ursprünglichen Standort zurückkehrt).
- Nutzen Sie die Nullstellungskonformität, um das Motorische Gedächtnis zu nutzen.
- Wählen Sie absolut messende Eingabegeräte anstelle von relativen Eingabegeräten, um Konformität zu gewährleisten.
- Wenn die Ergebnisse einer Interaktion nicht sofort berechnet werden können (d. h. ein Mangel an zeitlicher Übereinstimmung), dann geben Sie eine andere Art sofortigen Feedbacks, um den Benutzer darüber zu informieren, dass an dem Problem gearbeitet wird.
- Verwenden Sie für nicht-räumliche Zuordnungen allgemein akzeptierte Metaphern (z. B. oben ist mehr, unten ist weniger).

c) **Direkte vs. indirekte Interaktion**

- Verwenden Sie Hilfswerkzeuge, um die Reichweite zu vergrößern, damit die Benutzer das Gefühl haben, direkt zu interagieren.
- Verwenden Sie direkte, halbdirekte und indirekte Interaktionen, nur dort, wo diese geeignet sind und nicht, so sie es nicht sind. Versuchen Sie nicht, immer direkte Interaktion zu erzwingen.

d) Der Interaktionszyklus

- Um Interaktionen zu entwerfen oder zu verbessern, verwenden Sie Normans sieben Interaktionsstufen, um typische, unbewusste Prozesse in explizite Schritte aufzuteilen.
- Überlegen Sie, welche Stufen fehlen oder welche Stufen nicht gut funktionieren, so dass die Interaktion erschwert wird. Fügen Sie dann Bezeichner, Beschränkungen, Zuordnungen und Feedback nach Bedarf für jede Phase hinzu oder ändern Sie sie.
- Nutzen Sie die sieben Phasen der Interaktion mit der Aufgabenanalyse als Startpunkt zur Implementierung.

e) Die menschlichen Hände

- Ermöglichen Sie beidhändige Interaktion, wo immer diese geeignet ist.
- Gehen Sie nicht davon aus, dass eine Schnittstelle nur deshalb besser ist, weil zwei Hände sie bedienen: beidhändige Schnittstellen können bei unsachgemäßer Gestaltung schwierig zu handhaben sein.
- Feedback von Benutzern ist für die beidhändige Interaktion noch wichtiger als für die einhändige Interaktion.
- Lassen Sie die nicht-dominante Hand den Referenzrahmen definieren, damit die dominante Hand dort präzise arbeiten kann, ohne sich in einer gesperrten Position zu befinden.
- Entwerfen Sie beidhändige Interaktionen für die flüssige Zusammenarbeit beider Hände, indem Sie je nach Aufgabe zwischen symmetrischem und asymmetrischem Modus wechseln.

B) VR-Interaktionskonzepte

a) Interaktionstreue [interaction fidelity]

- Verwenden Sie realistische Interaktionen für Trainingsanwendungen, Simulationen, chirurgische Anwendungen, Therapien und für die Bewertungen menschlicher Faktoren.
- Verwenden Sie nicht realistische Interaktionen, um die Benutzerleistung zu steigern und Ermüdung zu minimieren.
- Verwenden Sie magische Interaktionen, um die Benutzererfahrung zu verbessern, die Einschränkungen der realen Welt zu umgehen und abstrakte Konzepte zu vermitteln.
- Betrachten Sie Interaktionsmetaphern als Inspirationsquelle. Wenn die realistische Interaktion kein primäres Ziel ist, verwenden Sie intuitive und nützliche magische Techniken.

b) Propriozeptive und egozentrische Interaktion

- Nutzen Sie zur Interaktion das einzige reale Objekt, das wirklich jeder Benutzer besitzt – den menschlichen Körper.
- Verwenden Sie zur Maximierung der Propriozeption - wann immer möglich - zusätzlich zur Kopf- und Handverfolgung das Tracking des Rumpfes. Alternativ kann die Stuhldrehung getrackt werden, um die Rumpfdrehung abzuschätzen.
- Platzieren Sie häufig verwendete Werkzeuge relativ zum Körper, um das Motorische Gedächtnis zu nutzen, damit der Benutzer die visuelle Aufmerksamkeit nicht von dem ablenken muss, an dem gearbeitet wird (Werkzeuge müssen sich dafür nicht zwangsläufig im Sichtfeld des Benutzers befinden).
- Gehen Sie nicht davon aus, dass exozentrische Perspektiven egozentrische Perspektiven ausschließen. Nutzen Sie die egozentrische Intuition auch bei der Gestaltung einer exozentrischen Erfahrung.

c) Referenzrahmen

- Bieten Sie Benutzern die Möglichkeit, in einem exozentrischen Referenzrahmen der virtuellen Welt zu denken und zu interagieren, wenn die Absicht besteht, dass Benutzer Inhalte



über einen großen Bereich erstellen, eine kognitive Karte der Umgebung erstellen, ihre eigene globale Position bestimmen oder Reisen in einem großen Maßstab planen.

- Seien Sie vorsichtig damit, direkte Schnittstellen im Bezugsrahmen der virtuellen Welt zu platzieren, da sie ohne einfache und präzise Navigationsmöglichkeiten schwer zu erreichen sein können.
- Zeichnen Sie Ruherahmen (z. B. einen Autoinnenraum, ein Cockpit oder nicht realistische Hinweise) in den Realwelt-Referenzrahmen, damit sich der Benutzer im Raum stabilisiert fühlt und die Cyber Sickness reduziert wird.
- Bieten Sie dem Benutzer einen Platz um physische Geräte abzulegen, wenn sie nicht benötigt werden, und stellen Sie diese Objekte im realen Referenzrahmen dar, damit sie leicht gesehen und aufgenommen werden können.
- Platzieren Sie Informationen, Schnittstellen und Werkzeuge relativ zum Körper, indem Sie sie im Rumpf-Referenzrahmen platzieren.
- Ermöglichen Sie fortgeschrittenen Benutzern das Ein-/Ausschalten oder Unsichtbarmachen von (aber immer noch verwendbaren) Objekten im Rumpf-, Hand- und Kopfreferenzrahmen.
- Platzieren Sie eine visuelle Darstellung von Handcontrollern im Rumpf-Referenzrahmen für nicht getrackte Controller und im Hand-Referenzrahmen für getrackte Handheld-Controller.
- Platzieren Sie Bezeichner im Handreferenzrahmen, die auf Tasten, Joysticks und/oder Finger zeigen, damit klar ist, was sie tun. Bieten Sie Benutzern die Möglichkeit, sie ein- und auszuschalten.
- Minimieren Sie Hinweise (Cues) im Kopf-Referenzrahmen für alles andere als einen Zeiger, wenn Head-Tracking für die Eingabe verwendet wird.

d) Sprache und Gesten

- Verwenden Sie explizite visuelle Bezeichner (z. B. eine Liste von Wörtern oder Piktogrammen), um darzustellen, welche Sprach- oder Gestenbefehle verfügbar sind. Geben Sie Feedback, indem Sie die ausgewählte Option hervorheben.
- Lassen Sie die Benutzer wichtige Befehle verifizieren, um schwerwiegende Fehler zu vermeiden.
- Verwenden Sie eine kleine Anzahl von Wörtern oder Gesten, die gut definiert, natürlich, für den Benutzer leicht zu merken und für das System leicht zu erkennen sind.
- Wenn mehr als eine Person im selben Raum anwesend ist, verwenden Sie Mechanismen wie „Sprache auf Knopfdruck“ und/oder „Geste auf Knopfdruck“, um versehentliche, unbeabsichtigte Befehle zu vermeiden.
- Verwenden Sie direkte, strukturelle Gesten für eine unmittelbare Systemreaktion.
- Wenn Benutzer über ihr eigenes, spezifisches System verfügen, verwenden Sie die sprecherabhängige Erkennung, wenn sie bereit sind, das System zu trainieren, und die adaptive Erkennung, wenn dies nicht der Fall ist.
- Reduzieren Sie das Fehlerpotenzial, indem Sie kontextabhängig nur eine Teilmenge des Vokabulars erkennen lassen.

e) Modi und Flow

- Wenn mehrere Interaktionsmodi verwendet werden können, machen Sie dem Benutzer klar, welches der aktuelle Modus ist.
- Verwenden Sie Objekt-Aktions- oder Auswahl-Manipulations-Sequenzen anstelle von Aktions-Objekt-Sequenzen.
- Ermöglichen Sie einen reibungslosen und einfachen Übergang zwischen der Auswahl eines Objekts und der Manipulation oder Verwendung dieses Objekts.



- Minimieren Sie Ablenkungen, um den Interaktionsfluss zu verbessern und die volle Aufmerksamkeit auf die Hauptaufgabe zu richten.
- Gestalten Sie Interaktionen so, dass der Benutzer sich nicht physisch (ob Augen, Kopf oder Hände) oder kognitiv zwischen Aufgaben bewegen muss.
- Verwenden Sie einfache Modus-Wechsel, physische Requisiten und multimodale Techniken, um den Interaktionsfluss aufrechtzuerhalten.

f) Multimodale Interaktion

- Verwenden Sie eine einzelne spezialisierte Eingabemodalität, wenn klar ist, dass eine einzelne Modalität für die Aufgabe am besten geeignet ist und es keinen Grund gibt, andere Modalitäten einzubeziehen. Fügen Sie keine Modalitäten hinzu, nur um eine Modalität hinzuzufügen.
- Ziehen Sie die Verwendung gleichwertiger Eingabemodalitäten dann in Betracht, wenn die Benutzerpräferenzen stark voneinander abweichen.
- Verwenden Sie redundante Eingabemodalitäten, um Rauschen und mehrdeutige Signale zu reduzieren.
- Verwenden Sie gleichzeitige Eingabemodalitäten, um die Effizienz zu verbessern, indem Sie dem Benutzer ermöglichen, zwei Interaktionen gleichzeitig auszuführen.
- Verwenden Sie komplementäre Eingabemodalitäten für Positionier-Schnittstellen.
- Ermöglichen Sie die Übertragung von Eingabemodalitäten, wenn ein Modalitätsgerät unzuverlässig ist, damit der Benutzer bei einem Ausfall nicht von vorne beginnen muss.

g) Vorsicht vor Übelkeit und Ermüdung

- Seien Sie besonders vorsichtig bei Techniken der Blickpunktsteuerung, die Cyber Sickness hervorrufen können. Befolgen Sie die einschlägigen Richtlinien, um gesundheitliche Beeinträchtigungen zu minimieren.
- Wenn Cyber Sickness ein Hauptanliegen ist (z. B. für VR-Neulinge oder ein allgemeines Publikum), verwenden Sie nur eine Eins-zu-Eins-Abbildung der realen Kopfbewegung oder Teleportation.
- Vermeiden Sie es, Interaktionen zu verwenden und zu erstellen, bei denen der Benutzer die Hände länger als für einige Sekunden hoch oder weit vor dem Körper halten muss. Verwenden Sie Geräte, die keine Sichtverbindung erfordern, damit Interaktionen bequem auf dem Schoß oder von den Seiten des Körpers durchgeführt werden können.

h) Visuell-physischer Konflikt und sensorische Substitution

- Erzwingen Sie physische Einschränkungen, wenn die Hand nur flach in das Objekt eindringt, damit die Hand nicht durch die Objektoberfläche hindurchgeht. Erzwingen Sie keine physischen Beschränkungen, wenn das Eindringen tief sein kann; erlauben Sie stattdessen, dass die Hand durch virtuelle Objekte hindurchgeht.
- Ziehen Sie in Betracht, zwei virtuelle Hände für eine einzige physische Hand zu zeichnen – eine, die Objekte durchdringt und eine, die nicht durchdringt.
- Hervorhebung verwenden, um ein Objekt als auswählbar zu kennzeichnen, wenn sich die Hand in der Nähe des Objekts befindet.
- Verwenden Sie Audio, um Kollisionen zu vermitteln.
- Verwenden Sie nach Möglichkeit passive Haptiken oder vibrotaktile Ausgaben.
- Wenn Trainingstransfer nicht wichtig ist, verwenden Sie Ghosting, um eine neue mögliche Position zu signalisieren, bis der Benutzer die Repositionierung bestätigt.



C) Eingabegeräte

a) Eigenschaften des Eingabegeräts

- Passen Sie die Interaktionstechnik dem Gerät und das Gerät der Interaktionstechnik an. Verstehen Sie die verschiedenen Geräteeigenschaften und -klassen, um zu bestimmen, was für das Projekt am besten geeignet ist.
- Verwenden Sie nach Möglichkeit 6-DoF-Geräte und verringern Sie dann die DoFs per Software, wo dies erforderlich ist.
- Wählen Sie Eingabegeräte, die im gesamten persönlichen Raum des Benutzers funktionieren, keine Sichtverbindung erfordern, robust gegenüber verschiedenen Lichtverhältnissen sind und die für alle Handausrichtungen funktionieren.
- Verwenden Sie Taster für binäre Aufgaben, wenn die Aktion häufig erfolgen muss, wenn sofortige Reaktion und Zuverlässigkeit erforderlich sind, wenn abstrakte Interaktionen angemessen sind und wenn physisches Feedback zum Drücken/Loslassen der Schaltfläche wichtig ist.
- Überfordern Sie Benutzer nicht mit zu vielen Tasten.
- Verwenden Sie Systeme mit bloßen Händen, Handschuhe und/oder haptische Geräte, die virtuellen Objekten entsprechen, wenn ein hohes Maß an Realismus und Präsenz wichtig ist.

b) Klassen von Handeingabegeräten

- Wenn Sie sich nicht sicher sind, was Sie verwenden sollen, oder keine starken Präferenzen bestehen, beginnen Sie mit Standard-3D-Controllern. Sie sind derzeit die beste Option für die meisten interaktiven VR-Erlebnisse.
- Für öffentliche, ortsgebundene Unterhaltungs-VR sollten Sie die Entwicklung angepasster Schnittstellen in Erwägung ziehen, wie z. B. fest installierte Geräte, die für das jeweilige VR-Erlebnis optimiert sind.
- Bringen Sie Beschriftungen an virtuellen Darstellungen von 3D-Controllern an, um zu verdeutlichen, was die Bedienelemente bewirken.
- Verwenden Sie 3D-Controller, wenn der Benutzer häufig virtuelle Geräte hält, um die Präsenz durch physische Berührung zu verbessern.
- Denken Sie bei Datenhandschuhen nicht nur an das Hand- und Finger-Tracking. Erwägen Sie die Verwendung von Pinch-Handschuhen, die keinen physischen Controller erfordern, aber die Vorteile von Tastern haben, indem Sie die Finger zusammendrücken.

c) Klassen von Nicht-Hand-Eingabegeräten

- Auch wenn Eye-Tracking verfügbar ist, sollten Sie es nicht übermäßig nutzen. Verwenden Sie die Blicksteuerung stattdessen für spezielle Aufgaben und auf subtile Weise (z. B. lassen Sie virtuelle Charaktere reagieren, wenn sie angeschaut werden).
- Wenn Sie Blickinteraktionen entwerfen, behalten Sie die natürliche Funktion der Augen bei, ergänzen Sie sie, anstatt sie zu ersetzen, konzentrieren Sie sich auf das Interaktionsdesign, verbessern Sie die Interpretation der Augenbewegungen, wählen Sie geeignete Aufgaben, verwenden Sie passive Blicke statt aktiver Blicke und nutzen Sie die Blicksteuerung für andere Interaktionen.
- Verwenden Sie Mikrofone, die speziell für die Spracherkennung ausgelegt sind.



D) Interaktionspattern und -techniken

a) Auswahl-Pattern

- Wenn Interaktionen nicht realistisch sein müssen, verwenden Sie das Pointing Pattern oder das Image-Plane Selection Pattern.
- i) Hand Selection Patterns
 - Verwenden Sie das Hand Selection Pattern, wenn Interaktionen realistisch sein sollen.
 - Verwenden Sie für eine hohe Interaktionstreue eine realistische virtuelle Hand, um Objekte auszuwählen.
 - Für eine mittlere Interaktionstreue verwenden Sie Hände ohne Arme, um über den persönlichen Bereich hinaus zu greifen (d. h. in der Nähe des Aktionsbereichs).
 - wählen Sie die Go-go-Technik für den persönlichen Arbeitsraum und den mittelgroßen Aktionsraum.
- ii) Pointing Patterns
 - Für kontrolliertes Zeigen sollten Sie einen Präzisionsmodus verwenden.
 - Um kleine Objekte auszuwählen, sollten Sie das Zeigen mit Objektfang verwenden.
 - Verwenden Sie keine Auswahl per Haltezeit, es sei denn, es gibt keine andere gute Möglichkeit, dieses Signal zu geben, oder es gibt einen anderen guten Grund dafür.
 - Verwenden Sie Eye Tracking nicht zum Auswählen von Objekten, es sei denn, es gibt einen triftigen Grund dafür.
- iii) Bildebenen-Auswahl-Pattern
 - Verwenden Sie die Bildebenenauswahl für die benutzerfreundliche Berührung aus der Ferne. Verwenden Sie es jedoch nicht, wenn der Benutzer häufig Objekte auswählen muss, da es zu Überanstrengung führt.
- iv) Volumenbasierte Auswahl-Patterns
 - Verwenden Sie ein volumenbasiertes Auswahl-Pattern, wenn Sie Daten und Raum ohne geometrische Oberflächen auswählen.
 - Seien Sie vorsichtig damit, die volumenbasierte Auswahl von unerfahrenen VR-Nutzern einzufordern.

b) Manipulations-Pattern

- i) Direkte Handmanipulations-Patterns
 - Verwenden Sie das direkte Handmanipulations-Pattern, es sei denn, es gibt einen Grund, dies nicht zu tun, da es i. A. effizienter und zufriedenstellender ist als andere Manipulations-Pattern.
 - Verwenden Sie für eine hohe Interaktionstreue eine virtuelle Hand sowohl für die Auswahl als auch für die Manipulation.
 - Verwenden Sie nicht-isomorphe Rotationen, um Greifoperationen zu reduzieren sowie Leistung und Präzision zu erhöhen.
- ii) Proxy-Patterns
 - Verwenden Sie das Proxy-Pattern, um entfernte Objekte intuitiv zu manipulieren oder wenn der Benutzer sich selbst oder die Welt skaliert.
 - Verwenden Sie getrackte physische Requisiten für eine direkte Korrespondenz zwischen Aktion und Aufgabe. Derartige Requisiten resultieren in einer einfach zu bedienenden Schnittstelle, die kein Training erfordert, die natürliche Zweihand-Interaktion ermöglicht und die dem Benutzer taktiles Feedback gibt.

iii) 3D-Tool-Patterns

- Verwenden Sie das 3D-Tool-Pattern, um die Möglichkeiten der Hände zur Objektbearbeitung zu verbessern.
- Verwenden Sie Bezeichner für am Objekt angebrachte Werkzeuge, um deutlich zu machen, wie diese Werkzeuge zur Manipulation des Objekts verwendet werden können.
- Um eine präzise Modellierung zu ermöglichen und die Komplexität zu reduzieren, verwenden Sie Vorrichtungen, die benutzergesteuerte Beschränkungen, Einrasten und diskrete Manipulationen ermöglichen.

c) **Sichtkontroll-Patterns**

- Achten Sie bei Auswahl, Design und Implementierung von Sichtkontroll(Viewpoint-Control)-Techniken besonders auf Übelkeit und Verletzungen, vor allem bei VR-Neulingen.

i) Gehen-Patterns

- Verwenden Sie das Gehen-Pattern, wenn eine hohe biomechanische Symmetrie und eine hohe Präsenz erwünscht sind, Ermüdung kein Thema ist und Sicherheitsmaßnahmen zur Vermeidung von Stolpern, physischen Kollisionen und Stürzen abgedeckt sind.
- Setzen Sie reales Gehen ein, wenn der physisch getrackte Raum genauso groß oder größer als der virtuelle begehbare Raum ist und sowohl räumliches Verständnis als auch die Minimierung von Übelkeit wichtig sind.
- Verwenden Sie Redirected Walking (umgeleitetes Gehen), wenn der getrackte physische Bereich kleiner als der virtuelle begehbare Bereich ist.
- Verwenden Sie das Gehen auf der Stelle, wenn der getrackte physische Raum klein ist oder die Unfallsicherheit ein Problem darstellt.
- Verwenden Sie ein Laufband, wenn das Gehen/Laufen über große Entfernungen erforderlich ist.

ii) Lenk-Patterns

- Verwenden Sie das Lenk-Pattern, wenn Übelkeit nicht im Vordergrund steht, die Interaktionstreu nicht wichtig ist, die Beschleunigung/Verzögerung minimiert werden kann und realitätsnahe, stabilisierende Hinweise gegeben werden können.
- Machen Sie die Steuerung so einfach wie möglich, um die kognitive Belastung zu minimieren, so dass sich der Benutzer auf den Erwerb von räumlichem Wissen und das Sammeln von Informationen konzentrieren kann.
- Stellen Sie visuelle Hinweise bereit, damit der Benutzer weiß, welche Richtung vorwärts ist.
- Verzichten Sie auf virtuelle Rotationen, wenn die Rumpf-/Stuhlverfolgung verfügbar und das Trackingsystem drahtlos sind.
- Wenn virtuelle Drehungen erforderlich sind und der Benutzer an den Boden gebunden werden kann, verwenden Sie analoge Joysticks.

iii) 3D-Multi-Touch-Patterns

- Verwenden Sie für Anwendungen, die keine hohe Interaktionstreu erfordern, das 3D-Multi-Touch-Pattern, wenn Sie Inhalte erstellen, abstrakte Daten manipulieren, wissenschaftliche Datensätze anzeigen oder schnell große und kleine interessierende Bereiche aus beliebigen Blickwinkeln erkunden.
- Fügen Sie für unerfahrene Benutzer Einschränkungen hinzu (z. B. Aufrichtung erzwingen, Skalierung begrenzen und/oder Drehungen deaktivieren).
- Bieten Sie eine visuelle Anzeige des Rotationszentrums und der Skalierung.

iv) Automatisierte Patterns

- Verwenden Sie Automatisierte Patterns, wenn eine freie Erkundung der Umgebung nicht erwünscht oder nicht möglich ist.
- Verwenden Sie Teleportation, wenn Sie große Entfernungen zurücklegen oder zwischen Welten reisen, wenn Effizienz wichtig ist oder wenn die Cyber Sickness minimiert werden muss. Verwenden Sie sie nicht, wenn die räumliche Orientierung beibehalten werden muss.
- Verwenden Sie fließende Übergänge, wenn die Beibehaltung der räumlichen Orientierung das Hauptanliegen ist.
- Wenn Sie den Benutzer passiv bewegen, reduzieren Sie Cyber Sickness, indem Sie die visuelle Geschwindigkeit so konstant wie möglich halten, stabile reale Bezugspunkte (z. B. ein Cockpit) und/oder einen Leitindikator bereitstellen.

d) **Indirekte Kontroll-Pattern**

- Verwenden Sie ein indirektes Kontroll-Pattern, wenn räumliche Zuordnungen nicht geeignet sind oder Details zur Vorgehensweise für den Benutzer nicht wichtig sind. Zu den Anwendungen gehören die Steuerung des Gesamtsystems, die Ausgabe von Befehlen, das Ändern von Modi und das Ändern nicht-räumlicher Parameter.
- Machen Sie bei indirekter Kontrolle die Bezeichner deutlich, wie z. B. die Form und Größe von Steuerelementen, ihre visuelle Darstellung und Beschriftung sowie offene Angebote der zugrunde liegenden Steuerstruktur.

i) Pattern für Widgets und Panels

- Verwenden Sie Widgets-Panel-Patterns, wenn es schwierig ist, direkt mit einem Objekt zu interagieren.
- Verwenden Sie gegebenenfalls bekannte 2D-Interaktionsmetaphern wie Pulldown-/Pop-up-Menüs, Optionsfelder und Kontrollkästchen.
- Verwenden Sie beim Entwerfen eines Panels Gestaltungskonzepte der Wahrnehmungspsychologie – verwenden Sie Position, Farbe und Form, um die Beziehungen zwischen Widgets hervorzuheben. Platzieren Sie beispielsweise Widgets mit ähnlichen Funktionen nahe beieinander.
- Platzieren Sie Widgets und Panels so, dass sie für Benutzer leicht zugänglich sind (z. B. auf der nicht-dominanten Hand oder im Rumpfbezugssystem).
- Verwenden Sie für häufig verwendete Befehle Torten-/Markierungsmenüs, um Gesten zu erlernen und diese Gesten im Motorischen Gedächtnis zu verankern.
- Verwenden Sie für Torten-/Markierungsmenüs das Zeigen mittels Projektion oder Rollen.
- Wenn Pinch-Gesten verfügbar sind, platzieren Sie Menüoptionen auf den Fingern.
- Ziehen Sie in Erwägung, Panels oder Widgets über dem Kopf zu platzieren, damit der Benutzer sie bei Bedarf nach unten ziehen kann.
- Platzieren Sie ein Panel in der nicht dominanten Hand, das ein- oder ausgeschaltet werden kann und dessen Widgets von der dominanten Hand gesteuert werden können.
- Für 2D-Aufgaben, die Präzision erfordern, sollten Sie ein physisches Bedienfeld verwenden, das der Benutzer in der nicht-dominanten Hand hält oder das am Unterarm befestigt ist.

ii) Nicht-räumliche Steuerungs-Patterns

- Verwenden Sie nicht-räumliche Steuerungs-Patterns für globale Aktionen, die durch Beschreibung statt durch eine räumliche Beziehung ausgeführt werden.
- Verwenden Sie Wörter und Gesten aus der realen Welt, die intuitiv und leicht zu merken sind. Halten Sie die Anzahl der Optionen klein und einfach.
- Stellen Sie Bezeichner zur Verfügung (z. B. Symbole für Gesten oder eine Liste von Wörtern für die Sprache), um nicht erfahrene Benutzer daran zu erinnern, welche Optionen verfügbar sind.
- Geben Sie immer irgendeine Form von Feedback.
- Wenn Genauigkeit wichtiger ist als Geschwindigkeit, lassen Sie Befehle verifizieren. Machen Sie den Bestätigungsprozess schnell und verlangen Sie keine Präzision. Beispiele hierfür sind das Klicken auf eine physische Schaltfläche oder das Sprechen von "Bestätige".
- Verwenden Sie Push-to-Talk oder Push-to-Gesture, um versehentliche unbeabsichtigte Befehle zu vermeiden.
- Verwenden Sie Sprachsteuerung, wenn die Hand- oder Kopfbewegung eine Aufgabe unterbrechen würde.
- Achten Sie darauf, von der Spracherkennung unabhängig zu sein, wenn sich mehrere Personen in derselben physischen Umgebung aufhalten oder es viel Lärm gibt.

e) **Zusammengesetzte Patterns**

i) Zeigehand-Patterns

- Wenn keine hohe Interaktionstreue erforderlich ist, verwenden Sie das Zeigehand(Pointing-Hand)-Pattern, um Objekte in der Ferne auszuwählen, aber wie in der Hand gehalten zu manipulieren.

ii) Miniaturwelt-Patterns

- Verwenden Sie das Miniaturwelt-Pattern, um Situationsbewusstsein zu schaffen, schnell benutzerdefinierte Stellvertreter zu definieren oder sich schnell zu bewegen.
- Verwenden Sie das Äquivalent einer vorwärts gerichteten Karte für die Miniaturwelt, damit die Ausrichtung der Karte mit der Ausrichtung der größeren Welt übereinstimmt. Bieten Sie gegebenenfalls die Möglichkeit, diese Funktion zu deaktivieren.
- Um Übelkeit zu reduzieren, ordnen Sie den Avatar des Benutzers in der Miniaturwelt nicht direkt der Bewegung des Benutzers zu. Animieren/navigieren oder teleportieren Sie stattdessen den Ansichtspunkt in den Avatar, wenn der Benutzer dies befiehlt.

iii) Multimodale Patterns

- Verwenden Sie multimodale Patterns, wenn mehrere Facetten einer Aufgabe erforderlich sind, wenn eine Reduzierung von Eingabebefehlern erforderlich ist oder wenn keine einzelne Modalität vermitteln kann, was benötigt wird.
- Wenden Sie multimodale Techniken nur an, wenn dafür ein triftiger Grund vorliegt. Wenn sie verwendet wird, halten Sie die Interaktionen so einfach wie möglich.
- Verwenden Sie eine automatische Modus-Umschaltung, wenn jede Technik nur in bestimmten Situationen verwendet werden kann und diese Situationen für den Benutzer klar sind.



4.4 Empfehlungen für gute AR Usability

Blokša [89] hat in seiner Arbeit aufgeführt, für welche Eingaben sich die vorgestellten Interaktionsmodi grundsätzlich gut eignen (siehe Abbildung 62). Auf diese Übersicht kann als Empfehlung zurückgegriffen werden.

Control type	Appropriate use	Inappropriate use	Multimodal enhancement
Gestures	Common control	When hands interaction needed	
Voice	Common control, when hands interaction needed	In the noisy environment	
Input device	Common control, special and detailed control	For some devices when hands interaction needed	
Eye-tracking (with blinks)	When hands interaction needed	Common control	
Gestures + Voice	Great for common control	In the noisy environment	Enhances both types for common control with restriction to hand use
Gestures + Input device	Common control, special and detailed control	When hands interaction needed	Gain of more precise control in special situations, limiting modality of basic control types
Gestures + Eye-tracking	Common control	When hands interaction needed	Addition of eye-tracking modality with no added disadvantage
Voice + Input device	Common control	In the noisy environment	Possibly restricting for hand usage
Voice + Eye-tracking	Common control, great when hands interaction needed	In the noisy environment	Additional eye-tracking modality makes this type of control suitable for instructions assembly
Eye-tracking + Input device	Special and detailed control	Common control	Very specific modality, possible hand use restriction

Abbildung 63: Control Type Table - geeigneter Einsatz von Interaktionsmodi [89]

Neben den Empfehlungen von Blokša sollten weiterhin die Vorteile, Nachteile und Abhängigkeiten, die in der Beschreibung der Interaktionsmodi Gestik, Motion Capturing (MoCap)(S. 18),

Händische Gerätebedienung (S. 21), Spracheingabe(S. 27), (S. 29) aufgeführt sind, Berücksichtigung finden, wenn es darum geht, geeignete Interaktionsmodi umzusetzen.

Gleichzeitig führte Blokša auf, was geeignete Systemantworten auf Benutzereingaben sein können (siehe Abbildung 64).

Control category	Command	Appropriate response	Inappropriate response
Gesture			
	Click gesture	Emphasize the element on click, sound (click) effect, possible animation	Voice response and command confirmation dialog
	Button press gesture	Animation is eligible, emphasize the element on press, sound (key press) effect	Voice response and command confirmation dialog
	Menu activation gesture	Animation is eligible, sound effect	Voice response and command confirmation dialog
	Object manipulation gesture	Emphasize the object, sound effect on selection only, continual reaction	Voice response and command confirmation dialog
	Significant command gesture	Command confirmation dialog	Direct execution of the command
Voice			
	Select voice command	Command echo – voice response ("Selecting...") + similar to click gesture	
	Object manipulation voice command	Command echo – voice response ("Resizing..., Placing...") + similar to object manipulation gesture	
	Significant voice command	Voice response – command confirmation dialog (e.g. "Do you want to delete...?")	Direct execution of the command
Other			
	Eye-tracking or Input device selection	Similar to click gesture + vibrations of input device	
	Voice + gesture commands	Combination of both response types, voice response can be dominant	
	Other multi-modal commands	Generally similar to gesture responses	

Abbildung 64: Command Response Table: geeignete Systemantworten auf Benutzereingaben [89]



Auch präsentiert im Rahmen seiner Arbeit AR Design-Guidelines vor und stellt Überlegungen zur zukünftigen Anwendbarkeit dieser Designrichtlinien an (Abbildung 65).

Category	Design guideline	Field of use	Origin	Auctorial	Future application	Evaluation
Presentation						
	Immediate content should be shown only in natural viewing zones.	General	Mike Alger + Microsoft HoloLens Guideline	No	Less restrictions, FOV will expand	Important
	Spacing is important in content to environment ratio.	Partly general	Samsung designers	No	Remains	Relevant
	Use volumetric elements.	Specific	Mike Alger	Partly	Possible. Up to designers choice	Relevant
	UI elements responsiveness is the key.	General	Mike Alger + David Birnbaum	Partly	Will become more authentic	Important
	Use human body for simple UI elements placement.	Specific	Mike Alger + Zach Kinster	Partly	Up to user customization	Specific
	The color of UI elements can make the perception more natural and visible.	Partly general	Multiple sources	No	Remains	Important
	Do not forget about the lighting.	Specific	ElasticFusion	Partly	Possible. Up to designers choice	Specific
Control						
	Enable change of control type in different situations.	General		Yes	Remains	Important
	Avoid the misrepresentation of the commands.	Partly general	Lin Shao	Yes	Less, with technical progress	Specific
	Combine various control types to achieve more control.	Partly general	Multiple sources	Partly	Remains	Relevant
	The user should be notified by command response.	Partly general	Games and common practice	Yes	Remains	Important
	Recognize significant commands.	Specific	Common practice	Yes	Remains	Important
	Use creative approach for user text input design.	Specific	Jonathan Ravasz	Partly	Possible. Up to designers choice	Specific
	Is standard login/unlock page design obsolete?	Specific		Yes	Possible. Up to designers choice	Specific
Instructions						
	Offer multiple instruction showing variations.	General	Multiple sources	Partly	Remains	Important
	Show the user work tools before needed.	Partly general		Yes	Possible. Up to designers choice	Specific
	Allow hiding/showing the manual.	Partly general		Yes	Remains	Relevant
	Vary the manual according to the user experience level.	General		Yes	Remains	Relevant
	Give a feedback to the user.	Partly general	Multiple sources	No	Remains	Important
	Ensure that the AR will be helpful.	Specific	Multiple sources	No	Remains	Important
	Emphasize parts of an object to be moved.	Specific	Games and other	Yes	Possible. Up to designers choice	Specific
	Tools inventory layout could be inspired by RPG games.	Specific	Multiple sources	Yes	Possible. Up to designers choice	Specific
	Indicate the movement.	Partly General	Multiple sources	Partly	Remains	Relevant
	Do not forget about extreme working conditions.	Specific	Multiple sources	Yes	Remains	Specific
	Enable remote cooperation.	Specific	Skype for Microsoft HoloLens	No	Possible. Up to designers choice	Specific
	Connect AR and VR usage for cooperation	Specific		Yes	Possible. Up to designers choice	Specific
Navigation						
	Navigation interface should vary depending on the transport type.	General		Yes	Remains	Important
	Navigation needs to be understandable.	General	Multiple sources	Yes	Remains	Important
	Highlight real life objects when navigating to the POL.	Specific	Games	Yes	Possible. Up to designers choice	Relevant
Notifications						
	Notifications should not be the primary communication channel.	General	Material design	No	Remains	Important
	Let the user set the notification preferences.	General	Material design	Partly	Remains	Relevant
	Form of presentation needs to be responsive.	Partly general	Multiple sources	Partly	Remains	Important
	Create notification priority levels.	Partly general	Material design	No	Remains	Important
	Do not cover the center of users' FOV on the move.	Specific		Yes	Will be more automated	Relevant
	Visual notifications should be used moderately.	Specific	Multiple sources	No	Possible. Up to designers choice	Specific
	Use only relevant and necessary notifications.	Partly general	Multiple sources	No	Remains	Specific
	Do not overload users' FOV with notifications.	Partly general	Material design	Partly	Remains	Relevant

Abbildung 65: AR-Design-Richtlinien nach Blokša [89]

Berücksichtigung älterer Menschen

Ist das AR-System für ältere Menschen auszulegen, dann müssen folgende Aspekte unbedingt mitberücksichtigt werden:

- Eingabe
 - Präzision der manuellen Eingabe und Größe der Hand: damit Größe der Interaktiven Flächen, auch Pols
 - Ruhe der Hand / der Hände (bei beidhändiger Interaktion)
- Sicht und Sehvermögen
 - Mindestabstand des Displays zum scharfen Sehen
 - Maximalabstand des Displays um Information noch erkennen zu können
 - Notwendige Größe der Informationsdarstellung, Display-Größe und -Auflösung
 - Bewegungseinschränkungen, z.B. Drehen nach hinten um dort etwas zu sehen
 - Möglichkeit der Verwendung einer Brille, z.B. in Kombination mit Smart Glass
 - Akkommodation: Fähigkeit und Geschwindigkeit zur Anpassung der Tiefenschärfe
- Wissen und Einstellungen
 - Vorwissen zur 3D-Interaktion
 - Vorwissen in der Verwendung realer Werkzeuge und bisheriger Hilfsmittel / Assistenzsysteme
 - Offenheit/Akzeptanz/Skepsis: Vermittlung von Quick Wins

4.4.1 Usability-Guidelines für Smartphone-/Tablet-PC-basierte AR

Für Smartphone- und Tablet-PC-basierte AR-Systeme gelten die allgemeinen Phone HCI Guidelines und die Mobile HCI Guidelines [112][115][116]. Apple hat speziell für ARKit-Entwickler eine Reihe von Hinweisen veröffentlicht, wie sich überzeugende AR-Anwendungen etwa für das iPhone konzipieren lassen [106]:

Überzeugende User Experience schaffen

- Verwende das gesamte Display, um den Benutzer einzunehmen
- Erschaffe überzeugende Illusionen (z.B. physikalisch korrekte Überlagerung, kein Schweben, ...) beim Platzieren realistischer Objekte
- Berücksichtige bei der App-Entwicklung physische Einschränkungen, die die Benutzung des AR-Systems schwierig machen (z.B. nicht genügend Fläche und/oder Abstand um etwas graphisch darauf zu platzieren)
- Bedenke den Nutzerkomfort: Das Halten des Geräts über eine längere Zeit ist unbequem.
- Falls die App den Nutzer zur Bewegung veranlasst, so sollte diese Option nach Möglichkeit erst mit fortschreitender Zeit immer mehr genutzt werden.
- Benutzer-Sicherheit: Nutzerbewegungen und Sichtbehinderungen durch das Gerät können dazu führen, dass der Nutzer kollidiert.
- Verwende Audio- und Haptik-Feedback, um die Immersion zu steigern.
- Verwende immer wo es möglich und sinnvoll ist, graphische Hinweise anstelle von Text
- Falls (Anweisung-/Anleitung-)Text verwendet werden muss, verwende Begriffe die auch der Nutzer (und nicht nur der AR-Entwickler) versteht, v.a. wenn es um die Steuerung der AR-App geht.
- Vermeide unnötige Unterbrechungen der AR-Experience: das Neuaufsetzen und Einrichten einer AR-Szene kostet Zeit und führt evtl. zu einem neuen Ergebnis - was zu vermeiden ist.

Start der AR-Anwendung

- Biete AR-Funktionalitäten nur auf den Geräten an, die diese technische Fähigkeit auch mitbringen.
- Verwende ein AR-Piktogramm, um vor dem Start der Anwendung darauf hinzuweisen, dass eine AR-Funktion gestartet wird.
- Zeige an, wenn das System noch initialisiert wird und daher noch nicht bereit ist.

Platzierung Virtueller Objekte

- Hilf den Nutzern zu verstehen, wie sie eine Fläche auszuwählen und dann ein 3D-Objekt daraus platzieren.
- Antworte adäquat, wenn der Nutzer ein Objekt platziert, etwas über eine Quittierung oder die Möglichkeit, eine Feinpositionierung vorzunehmen. Durchdringt das 3D-Objekt ein physisches, sollte dieses angezeigt oder korrigiert werden.
- Vermeide 3D-Objekte präzise an den Ecken erkannter Flächen auszurichten, da diese Erkennung eine Annäherung darstellt, die sich bei Perspektivwechsel ändern kann.

Nutzer-Interaktion mit virtuellen Objekten

- Bevorzuge direkte 3D-Manipulation anstelle mehrerer Bildschirm-Dialoge.
- Ermögliche Nutzern, direkt mit virtuellen Objekten über bekannte Standardgesten zu interagieren (Ziehen mit 1 Finger, Rotieren mit 2 Fingern, etc.)
- Halte Interaktionen generell einfach (auch z.B. über die Einschränkung der Freiheitsgrade der 3D-Szene, da die Interaktion immer nur 2D sein kann).
- Ermögliche die Interaktion per Geste nur unterhalb eines sinnvollen Maximalabstands zu virtuellen Objekten oder Dialogen.
- Überdenke, ob der Nutzer 3D-Objekte wirklich skalieren können muss oder ob dieses unrealistisch wäre.
- Vermeide sich möglicherweise widersprechende Gesten, die aber ähnlich sind (z.B. 2-Finger-Pinch versus 2-Finger-Rotation).
- Ermögliche kontinuierliche 3D-Objektbewegungen mit sanftem Übergang, keine Sprünge.
- Erprobe weitere Interaktionsmöglichkeiten neben Gesten, wie etwa Bewegung, Annäherung.

Nutzer-Unterstützung

- Ermögliche den Reset, wenn der Nutzer mit seinen Eingaben nicht zufrieden ist.
- Schlage dem Nutzer Lösungsmöglichkeiten bei Problemen vor, etwa
 - Kantenerkennung schwierig: mehr Licht und sich bewegen
 - exzessive Bewegungserkennung: Handheld-Gerät langsamer, weniger bewegen
 - Kantenerkennung dauert zu lange: sich bewegen, mehr Licht, Kamera ist auf eine gut erkennbar strukturierte Fläche gerichtet

4.4.2 Usability-Guidelines für Smart-Glass-basierte AR

Für Smart-Glass-basierte AR-Systeme gelten die 3D-User-Interface Guidelines und die VR Interface Guidelines [104][110]. Microsoft stellte darüber hinaus noch folgende Punkte zur Unterstützung der HoloLens-Entwickler auf[117]:

Grundlegende Handlungsempfehlungen

- Wende Kontexte und Bedeutungen effizient auf situative Interaktionspunkte an [Microsoft führt hier den Begriff des Situational Interaction Points (SIPs) ein. Eine exakte Definition wurde nicht gefunden, es wird jedoch davon ausgegangen, dass dieses Konzept einem POI oder einer HUD-Information entspricht, die Kontext- und Raumbezogen erscheint].
- Zeige mögliche Interaktionen an.
- Biete Richtung, Kontext und Hinweise an, die kognitive Dissonanz in Bezug auf Interaction Design Pattern und Objekte in der Virtuellen Umgebung vermeiden.
- Verstehe die UX-Auswirkungen von Objekt-Flächen-Kollisionen, Verdeckungen, temporäre Flächenverschiebungen und falsch platzierter 3D-Objekte.
- Etabliere Verbindungen und Kontext zwischen verbundenen SIPs und interaktiven virtuelles Objekten [Microsoft verwendet hier en Begriff der Virtual Interaction Points; eine exakte Definition wurde nicht gefunden, es wird jedoch davon ausgegangen dass dieses interaktiv veränderbaren 3D-Objekten entspricht].

- Erwäge die Möglichkeiten, die transformative Verbindungen bieten, die die Grenzen zwischen realen und digitalen Objekten schneiden.
- Lenke die Aufmerksamkeit auf angemessene Interaktionsmöglichkeiten.
- Gehe sparsam mit Text um. Denke stattdessen über Illustrationen nach.

Zu beachtende Randbedingungen

- Größe des (physischen) Raumes
- Gibt es mehrere Räume/Bereiche, die involviert sind?
- Größe des eigentlichen Arbeitsraums
- Aufgeräumtheit des Arbeitsraums
- Arbeitsraum innerhaus oder draußen
- Typ der Oberfläche (z.B. des Bodens: Strukturiertheit)

Umgebung und Licht

- durchschnittliche Beleuchtung
- Beleuchtungsschwankungen
- Anzahl Fenster
- Verwendung von Farben in Objekten und Modellen
- Verdeckungen

Interaktionsmodelle

- Interaktion per Blickrichtung funktioniert prinzipiell ähnlich zur Interaktion mit einem Mauszeiger: wo man hinschaut, geschieht die Interaktion
- Interaktion auch mit anderen Geräten
- Zusammenspiel der Interaktion mit verschiedenen Geräten
- Nutzer informieren über seine Möglichkeiten zur Interaktion
- Einsatz Sprachsteuerung
- Einsatz Akustikausgabe um Nutzer, Orte, Dinge zu orientieren oder zu positionieren
- Einsatz Animation um Ereignisse und Veränderungen anzuzeigen
- richtiges Verständnis des Foeld of View
- Grundlegende Prinzipien des 3D-Designs
- Kollisionsobjekte (collider) verstehen und einsetzen
- Festkörperrepräsentationen verstehen
- Modellkomplexität geringhalten
- Menü-Systeme effizient einsetzen
- Bildebene richtig einsetzen
- 3D-Modellierhandwerk
- Gesamtanzahl virtueller 3D-Objekte
- Verwendung von special effects, Optimierungen (Performance, Darstellung, ...)

Rapid Prototyping

- Werkzeugbeherrschung: Unity, Visual Studio Team Services, Blender, Maya, Zbrush, ...
- Prozessorientierung der Entwicklung

5. Menüs im V/AR-Kontext

Einerseits aufgrund unterschiedlicher Eingabe-Hardware - aber auch auf der Basis anderer Interaktions-Philosophien - gibt es eine große Bandbreite verschiedenartig gestalteter Menüs für V/AR-Systeme. Diese können wie klassische WIMP-Menüs als Pull-Down- oder Pop-Up-Menüs gestaltet sein (siehe Abbildung 66, Abbildung 67), die in VR mit dem 3D-Controller über einen Zeigestrahl letztlich wie eine 2D-Maus aktiviert werden (am Desktop werden sie schlicht mit der normalen Computermaus bedient). Da diese Methode an WIMP-Systeme angelehnt ist, ist sie sehr einfach zu bedienen aber ein wenig umständlich und damit zeitintensiv. 6-DoF-Menüs (siehe Abbildung 68, Abbildung 69) nutzen hingegen alle sechs Freiheitsgrade des Eingabesystems „3D-Controller“ und sind damit wesentlich schneller zu bedienen. Der Nachteil liegt hier darin, dass die Bedienung solcher Dialoge zunächst zu erlernen ist. Aber selbst wenn bekannt ist, wie solche Menüs grundsätzlich funktionieren, so wird natürlich die Funktionsbelegung höchst unterschiedlich sein.

Sonderlösungen wie Table-Top-Systeme (siehe Abbildung 70, Erläuterung zu Abbildung 12 auf Seite 12) haben häufig gesonderte Eingabemechanismen. Mixed Reality ist aber an dieser Stelle grundsätzlich als leicht verständlich einzuschätzen.

Unglücklicherweise ziehen sich die Unterschiede der 3D-Interaktion durch bis auf die Tastenbelegung einer Desktop-2D-Maus: wo „Verschieben“, wo „Drehen“ im 3D-Raum ist, legt letztlich die Anwendung fest; Einheitlichkeit gibt es hier nicht. In der Folge werden verschiedene CAD-, Simulations-, Modellier- und VR-Lösungen also bis auf Tastenebene unterschiedlich bedient, was für den Benutzer enorm störend ist, da häufig mehrere Werkzeuge in einer Entwicklungsprozesskette

sukzessive zum Einsatz kommen müssen. Einen behelfsmäßigen „Work Around“ zeigt Abbildung 71 für das Tool FreeCAD. Er dokumentiert aber vielmehr, dass die aktuelle Situation wirklich unbefriedigend ist.

Abbildung 71: Ein Umgang mit dem babylonischen Interaktions-Wirrwarr: in FreeCAD kann der User seine Art der 3D-Interaktion aus acht Optionen auswählen

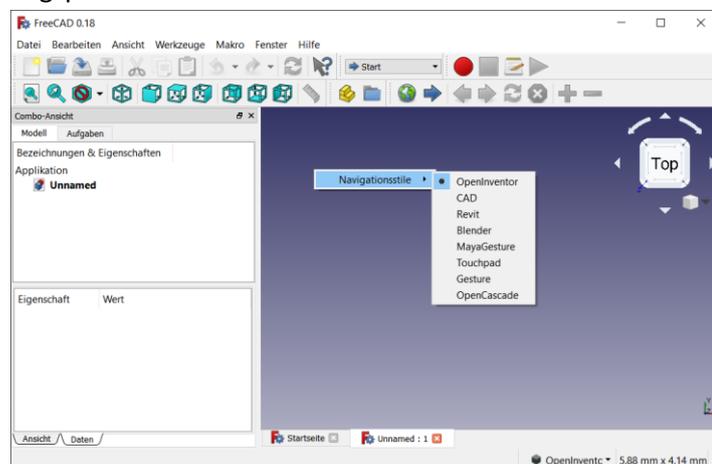


Abbildung 66: User-Interface der VR-Lösung COVISE



Abbildung 67: User-Interface der 3D-Lösung bs contact



Abbildung 68: User-Interface der VR-Lösung ESI Ic:ido

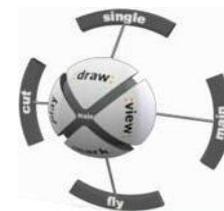


Abbildung 69: User-Interface der VR-Lösung Google Tiltbrush



Abbildung 70: User-Interface Planungstisch Fraunhofer IPA



6. Abkürzungen

3D	dreidimensional
5G	Mobilfunkstandard der fünften Generation
AR	Augmented Reality (dt. Erweiterte Realität): Überlagerung der natürlichen Sicht mit Computer-generierten Informationen
ASTM	American Society for Testing and Materials
bsi	British Standards Institution
CEA	Consumer Technology Association
CEN	European Committee for Standardization
DIN	Deutsches Institut für Normung e.V.
DKE	Deutsche Kommission Elektrotechnik Elektronik Informationstechnik in DIN und VDE
DSGVO	Datenschutz-Grundverordnung
DOF	Freiheitsgrade (Degrees of Freedom)
DVB	Digital Video Broadcasting
GS1 US	Global Standards, US branch
HOTAS	Steuerknüppel und dem Schubregler angebracht sind (engl. Hands On Throttle And Stick)
HMD	Head-Mounted Display (dt. Datenhelm)
HUD	HeadUp Display; Anzeige im Sichtfeld des Betrachters
IEC	International Electrotechnical Commission
IEEE	Institute of Electrical and Electronics Engineers
IETF	Internet Engineering Task Force
IMU	Inertialmesseinheit (engl. inertial measurement unit)
ISO	International Organization for Standardization
ITU	International Telecommunication Union
Khronos	Khronos Group
kmU	kleine und mittelständische Unternehmen
LED	Light Emitting Diode (dt. Leuchtdiode)
LET	Lernen, Bildung, Training – learning/education/training
mipi alliance	Mobile Industry Processor Interface Alliance
MIMOSA	Open Standards for Operations and Maintenance
Mozilla	Mozilla
MPEG	Moving Pictures Expert Group
MR	Mixed Reality, gleichzeitige Präsentation künstlicher und natürlicher Sinnesreize
NATO	North Atlantic Treaty Organization
OGC	Open Geospatial Consortium
OLED	organische Leuchtdiode

OMAF	Omnidirectional MediA Format
OSVR	Open Source Virtual Reality Movement
ProSTEP	ProSETP iViP e.V.
QUALINET	WG2 - Standardization
SAE	Society of Automobile Engineers
SISO	Simulation Interoperability Standards Organization
TCP	Tool Center Point (Endeffektor) eines Roboters
TIFCA	International Future Computing Association (früher: Immersive Technology Alliance)
USP	Unique Selling Proposition
UX	User Experience
VDA	Verband der Automobilindustrie e. V.
VDI	Verein Deutscher Ingenieure e.V.
VESA	Video Electronics Standards Association
VR	Virtual Reality (dt. Virtuelle Realität): interaktive Integration eines Benutzers in eine Computer-generierte 3D-Umgebung
VRARA	Virtual Reality and Augmented Reality Association
vrhig	Virtual Reality Human Interface Guidelines Community
VRIF	Virtual Reality Industry Forum
W3C	World Wide Web Consortium (W3C)
WIMP	windows-icon-menu-pointer: klassisches Interaktionsparadigma für Desktop-Computersysteme mit Maus und Mauszeiger
XR	eXtended Reality; Sammelbegriff für AR, MR, VR



7. Literatur und Verweise

- [1] Augmented Reality – FARO Messarm ergänzt metaio Engineer; online unter: <http://blog-de.faro.com/2014/03/augmented-reality-faro-messarm-erganzt-metaio-engineer/> ; abgerufen am 19.10.2017
- [2] Total Immersion Augmented Reality Technologies; online unter: <http://www.t-immersion.com/augmented-reality/augmented-reality-technologies> ; abgerufen am 18.10.2017
- [3] Fraunhofer IGD: Virtual & Augmented Reality; online unter: <https://www.igd.fraunhofer.de/kompetenzen/technologien/virtual-augmented-reality> ; abgerufen am 18.10.2017
- [4] Wassmann, M.: Airbus Group Testia - SART Smart Augmented Reality Tool; Airbus Group Testia, 2016
- [5] Testia / Airbus: SART - Augmented Reality Tool, online unter <https://www.youtube.com/watch?v=7onbZvpR-II> ; abgerufen am 6.10.2017
- [6] Fraunhofer IGD: AR Telescope; online unter <http://www-old.igd.fraunhofer.de/en/Institut/Abteilungen/VRAR/Projekte/AR-Telescope> ; abgerufen am 18.10.2017
- [7] bluelemon Unimog IAA 2012; online unter <http://www.bluelemon.de/en/flash/rontgenblick-in-den-neuen-unimog>
- [8] BAE Systems. Q-Warrior Helmet-mounted Display; online unter <http://www.baesystems.com/en/product/qwarrior-helmet-mounted-display>
- [9] VRVANA TOTEM Real and virtual come together; online unter <https://www.vrvana.com/>
- [10] Fly Away. Holographic 3D Digital Projection Explained (Christie); online unter <https://flyawaysimulation.com/images/media/9318/holographic-3d-digital-projection-explained-christie/>
- [11] College of Engineering University of Washington. Contact Lenses for Superhuman Vision; online unter https://www.engr.washington.edu/facresearch/highlights/ee_contactlens.html
- [12] Desktop Augmented Reality; online unter www.metaio.de ; abgerufen am 31.12.2014
- [13] wurzel medien. Virtuelle Kaffeemaschine: WMF Photo Simu App; online unter: <http://www.wurzelmedien.de/augmented-reality-konfigurator-wmf-photo-simu-app/>
- [14] Wikipedia: Technology Readiness Level; online unter: https://de.wikipedia.org/wiki/Technology_Readiness_Level
- [15] RE'FLEKT Mit der digitalen Fabrik um die Welt; online unter <https://www.re-flekt.com/blog/mit-der-digitalen-fabrik-um-die-welt/>
- [16] 3DExcite. Projection-based Augmented Reality Demo; online unter : https://www.youtube.com/watch?v=qMGVC-Mucrcsc&list=PLE5gjfDPG-2NYAzpcW8_rnXikWTo0PfmZ
- [17] millermedia7. Things To Remember When Designing For Augmented Reality. Design Visualization; online unter: <https://millermedia7.com/designing-augmented-reality/>
- [18] Frigo, M.A.; da Silva, E.C.: Augmented Reality in Aerospace Manufacturing: A Review; Journal of Industrial and Intelligent Information Vol. 4, No. 2, März 2016
- [19] Aviation International News: Get a Pilot's Eye View of the F-35 Head-Up Display; online unter <https://www.youtube.com/watch?v=Ay6g66FbkmQ>
- [20] Computerwelt: Microsoft und Augmensus kooperieren bei Augmented Reality; online unter: <http://www.computerwelt.at/news/wirtschaft-politik/unternehmen/detail/artikel/100745-microsoft-und-augmensus-kooperieren-bei-augmented-reality/>
- [21] Nee, A. et al.: Design and Development of an in situ Machining Simulation System Using Augmented Reality Technology; Procedia CIRP, 2012/12/31, S. 185–190
- [22] Matting, M.: Die Handy-Elite Sehen, was nicht da ist; online unter http://www.focus.de/digital/multimedia/die-handy-elite-sehen-was-nicht-da-ist_aid_638100.html
- [23] Stuttgart Express: Neue App: Augmented Reality vom Fernsehturm; online unter <http://www.stuttgart-express.de/stuttgart-region/item/18251-neue-app-augmented-reality-vom-fernsehturm.html>
- [24] Horlacher, M; Sattes, B. et al.: 3D-Stadt- und Geländemodelle. Präsentation für die Sommerkreisversammlung der Bürgermeister Spiegelberg, 20.07.2016
- [25] Lindow-Zechmeister, Sarah: Epson Moverio BT-350: Der moderne Tour-Guide. Augmented Reality-Brille schafft neue Vermarktungsoptionen für Kunst und Kultur; online unter <https://www.android-user.de/epson-moverio-bt-350-der-moderne-tour-guide-augmented-reality-brille-schafft-neue-vermarktungsoptionen-fuer-kunst-und-kultur/>
- [26] Absolute Reality. Augmented Reality in der Logistik: Direkte Datenverarbeitung steigert Effizienz; online unter: <https://absolutereality.de/augmented-reality-in-der-logistik-fuer-direkte-datenverarbeitung/>
- [27] Deutsches Forschungszentrum für Künstliche Intelligenz: LARA: Der Röntgenblick für den Tiefbau – Augmented Reality-Unterstützung für Aushubarbeiten; online unter <https://www.dfki.de/web/presse/pressemitteilung/2016/lara/>
- [28] Reed, B.: Video: Amazing augmented reality tech could eliminate your car's blind spots; online unter: <http://bgr.com/2014/04/09/land-rover-augmented-reality/>
- [29] automotivEIT: VW uses virtual technology for service training; online unter: <http://www.automotiveit.com/vw-uses-virtual-technology-for-service-training/news/id-00670>



- [30] Schnaider, M., et al.: Medarpa - Ein Augmented Reality System für Minimal-Invasive Interventionen; Bundesministerium für Bildung und Forschung -BMBF-:Internationale Statustagung "Virtuelle und Erweiterte Realität", Berlin, 2002, S.9
- [31] MIT Medical Vision Group: Project on Image Guided Surgery: A collaboration between the MIT AI Lab and Brigham and Women's Surgical Planning Laboratory; online unter: http://groups.csail.mit.edu/vision/medical-vision/surgery/surgical_navigation.html
- [32] Digital Life @ Daimler – Einsatz innovativer IT ermöglicht effiziente Fahrzeugentwicklung bei Mercedes-Benz Vans; online unter: <http://media.daimler.com/marsMediaSite/de/instance/ko/Digital-Life-a-Daimler--Einsatz-innovativer-IT-ermoeeglicht-effiziente-Fahrzeugentwicklung-bei-Mercedes-Benz-Vans.xhtml?oid=9916637> , abgerufen am 19.10.2017
- [33] metaio Engineer; online unter www.metaio.de; abgerufen am 31.12.2014
- [34] XGRAPHIC Ingenieurgesellschaft mbH Engineering Solutions. Augmented Reality. Überwachung im industriellen Bauprozess; online unter: <http://www.xgraphic.de/index.php?nav=AugmentedReality>
- [35] ComputerTrend-TV Augmented Reality ARVIKA 1 of 2; online unter: <https://www.youtube.com/watch?v=IXTaNP3rhE>
- [36] Friedrich, W.: ARVIKA: Augmented Reality in Entwicklung, Produktion und Service; Springer, 2004
- [37] Schreiber, W.; Zimmermann, P.: Virtuelle Techniken im industriellen Umfeld. Das AVILUS-Projekt - Technologien und Anwendungen; Springer, 2011
- [38] High-Performance Computing Center Stuttgart. Solutions & Services. Service Portfolio. Visualization. Augmented Reality, AR Applicatons, Aerodynamics; online unter: <https://www.hlrs.de/de/solutions-services/service-portfolio/visualization/augmented-reality/ar-applications/>
- [39] PaletteCAD perfect rooms. Eine Präsentation von PaletteCAD sagt mehr als 1.000 Wort; online unter: <https://www.palettcad.com/de/praesentieren/>
- [40] Z&M 3D Welt. Prinzip und Anwendungsfelder zu TrueGeoVision Visualisierung. Z&M 3D Welt - Einsatzgebiete Visualisierungsverfahren trueGEOvision; online unter: <http://www.zm-3dwelt.de/visualisierung.html>
- [41] Z&M 3D Welt - Einsatzgebiete Visualisierungsverfahren trueGEOvision; online unter: <https://www.youtube.com/watch?v=3bk6dTIDIM0>
- [42] Klonblog: Augmented-Reality: Goertz bietet virtuelle Schuhanprobe; online unter: <https://www.klonblog.com/2012/07/27/augmented-reality-goertz-bietet-virtuelle-schuhanprobe/>
- [43] Cisco: The Future of Shopping; online unter: <https://www.youtube.com/watch?v=XM9ZOWPeiAk>
- [44] WinFuture: Ford entwickelt seine Auto-Designs jetzt mit Microsoft HoloLens; online unter: <http://winfuture.de/videos/Hardware/Ford-entwickelt-seine-Auto-Designs-jetzt-mit-Microsoft-HoloLens-18364.html>
- [45] National Geographic; nähere Details unbekannt
- [46] Re'flekt: How to save time and money with TeleServices and Augmented Reality; online unter: <https://www.youtube.com/watch?v=Xsn-6naSFKw>
- [47] ARA. ARC4: Heads-up on-the-move augmented reality technology; online unter: <https://www.ara.com/projects/arc4-heads-move-augmented-reality-technology>
- [48] Odom, J.: Microsoft Research Shows Off Mobile Holoportation; online unter: <https://next.reality.news/news/microsoft-research-shows-off-mobile-holoportation-0175212/>
- [49] Microsoft Hololens:Development Overview; online unter: <https://www.youtube.com/watch?v=A784OdX8xzl>
- [50] Microsoft Newsroom. Skype mit Microsoft Hololens; online unter: <https://news.microsoft.com/de-de/microsoft-holo-lens-skype-rgb1/>
- [51] meta. Pin-sharp. Crystal clear. More real. With the widest field of view on the AR market and an optical engine that delivers vivid 3D content, the Meta 2 enhances your reality; online unter: <http://www.metavision.com/>
- [52] Digital Trends. VW's augmented-reality app moves amateur mechanics out from under the shade tree; online unter: <https://www.digitaltrends.com/cars/tech-savvy-mechanics-vws-new-tablet-app-gives-interactive-repair-instructions/>
- [53] ThyssenKrupp: Unternehmensmeldungen, Produkte und Lösungen, 15.09.2016, 18:00. thyssenkrupp treibt Digitalisierung des weltweiten Aufzugsservice weiter voran: Microsoft HoloLens verringert Wartungszeit; online unter: <https://www.thyssenkrupp.com/de/newsroom/pressemeldungen/press-release-114208.html>
- [54] thyssenkrupp – bringing new vision to elevator maintenance with Microsoft HoloLens; online unter: <https://www.youtube.com/watch?v=8OWhGiyR4Ns>
- [55] LecturaPress: Ubimax GmbH, einziger deutscher Google Glass Certified Partner, zeigt Pick-by-Vision Lösung „xPick“ auf der LogiMAT 2015; online unter: <https://press.lectura.de/de/article/ubimax-gmbh-einziger-deutscher-google-glass-certified-partner-zeigt-pick-by-vision-loesung-xpick-auf-der-logimat-2015/9402>
- [56] ThePilotsBlog. What is a HUD?; online unter: <http://www.thepilotsblog.com/the-pilots-news-and-videos/what-is-a-hud>
- [57] 3DVRCentral vr news aggregator. Augmented Reality: BMW shows latest solutions, HUD; online unter: <http://3dvr-central.com/2016/02/29/augmented-reality-bmw-shows-latest-solutions-hud/>



- [58] DailyTech. Gadgets. Great Expectations: The Rise and Fall of Google Glass Explorer Edition; online unter: <http://www.dailytech.com/Great+Expectations+The+Rise+and+Fall+of+Google+Glass+Explorer+Edition/article37080.htm>
- [59] Picavi: Vision Picking with Smart Glasses; online unter: <https://www.youtube.com/watch?v=B6zPnVGS0VI> ; abgerufen am 6.10.2017
- [60] KNAPP Company Information; online unter <http://www.knapp.se/about-us/>
- [61] KNAPP KiSoft Web Eye; online unter: <http://www.knapp.se/customer-service/hotline/kisoft-web-eye/>
- [62] Korn, Oliver: Context-Aware Assistive Systems for Augmented Work. A Framework Using Gamification and Projection. Dissertation, Universität Stuttgart, 2014
- [63] BMW Augmented Reality; online unter: <https://www.youtube.com/watch?v=P9KPJIA5yds>
- [64] Trumpf Inc.: Virtual Reality Support - Smart Glasses; online unter: <https://www.youtube.com/watch?v=vrC05sJOORM>
- [65] TechCrunch: Zugar's Augmented Reality Dressing Room Is Great If You Don't Care How Your Clothes Fit; online unter: <https://techcrunch.com/2009/06/23/zugaras-augmented-reality-dressing-room-is-great-if-you-dont-care-how-your-clothes-fit/>
- [66] VizorVR: VR Gaze Navigation Tutorial; online unter: <https://www.youtube.com/watch?v=8UwFbc6HqyY>
- [67] Microsoft Windows Dev Center. Gaze targeting; online unter: https://developer.microsoft.com/en-us/windows/mixed-reality/gaze_targeting
- [68] Microsoft Windows Dev Center. Gesture design; online unter: https://developer.microsoft.com/en-us/windows/mixed-reality/gesture_design#tap_and_hold
- [69] Leap Motion: Leap Motion Blocks for Oculus Rift Playthrough; online unter: https://www.youtube.com/watch?v=oZ_53T2jBGg
- [70] TU Wien: Construct3D - An Augmented Reality System for Mathematics and Geometry Education; online unter: <https://www.ims.tuwien.ac.at/projects/construct3d>
- [71] mobilegeeks: Samsung Gear VR 2: Neue Version inklusive Controller [MWC 2017]; online unter: <https://www.mobile-geeks.de/news/samsung-gear-vr-2-controller/>
- [72] Xybernaut Keyboard; online unter: <http://www.xybernaut.com/> ; aufgerufen am 31.12.2001
- [73] The Register: Personal Tech. Come and Twiddle Tek Gear's one handed keyboard; online unter: https://www.theregister.co.uk/2015/01/21/review_tek_gear_twiddler_3_remote_handheld_keyboard/
- [74] gravity sketch. Pushing the boundaries of Design; online unter: <https://www.gravitysketch.com/>
- [75] Mathew, M.: Introduction to augmented Reality (AR); online unter: <https://www.linkedin.com/pulse/introduction-augmented-reality-ar-moncy-mathew/>
- [76] CNET: Wikitude for LG Optimus 3D is the first 3D augmented-reality browser; online unter: <https://www.cnet.com/uk/news/wikitude-for-lg-optimus-3d-is-the-first-3d-augmented-reality-browser/>
- [77] RE'FLEKT Hocheffiziente Augmented Reality Anwendungen für Automotive, Industrie und Immobilien; online unter: <http://www.re-flekt.com/archive/de/>
- [78] Grandi et al.: Collaborative Manipulation of 3D Virtual Objects in Augmented Reality Scenarios using Mobile Devices; online unter <https://www.youtube.com/watch?v=IXSAkIv9e0>, abgerufen am 6.10.2017
- [79] Tatzgern, Markus, et al.: Exploring real world points of interest: object-centric exploration techniques for augmented reality; Pervasive and Mobile Computing: Special Issue on Mobile and Pervasive Applications in Tourism, 2014; online unter: <https://www.youtube.com/watch?v=pq4knRTASiY> , abgerufen am 6.10.2017
- [80] LEGO Augmented Reality; online unter: https://www.youtube.com/watch?v=vmy_XqN5b64
- [81] vertigo ICT project .Urban Lab. Exploring new methods and technologies to support participatory planning for a sustainable development; online unter: <http://vertigo.starts.eu/ict-projects/reallabor-stadtquartiere-40-urban-labcity-quarters-40/detail/>
- [82] Nissan Augmented Reality; online unter: <https://www.youtube.com/watch?v=Hv32V3EYaul>
- [83] Wikipedia: Amazon Echo; online unter: https://de.wikipedia.org/wiki/Amazon_Echo
- [84] Microsoft Windows Dev Center. Voice Design; online unter: https://developer.microsoft.com/en-us/windows/mixed-reality/voice_design
- [85] Wikipedia: Google Glass; online unter: https://de.wikipedia.org/wiki/Google_Glass
- [86] CISION PR Newswire. Augmented Reality Glasses with Eye Tracking Showcased at AWE 2016; online unter: <https://www.prnewswire.com/news-releases/augmented-reality-glasses-with-eye-tracking-showcased-at-awe-2016-581358701.html>
- [87] Continental The Future in Motion. Head-Up Displays; online unter: <http://continental-head-up-display.com/de/>
- [88] 3D-GUIde. Was macht 3D-Software intuitiv?; online unter: <http://www.3d-intuitiv.de/>
- [89] Blokša, Jakub: Design Guidelines for User Interface for Augmented Reality; Masaryk University Faculty of Informatics; Brunn, 2017
- [90] Osterhout Goup: ODG R-9 Smartglasses; online unter: <https://www.osterhoutgroup.com/r-9-smartglasses>



- [91] Gubsch, I.: Interaktiver Simulator für mobile Arbeitsmaschinen. Virtuelle Prototypen im Einsatzkontext untersuchen; Präsentation der TU Dresden, 2012
- [92] Spath, D., Haselberger, F.; Braun, M.: Virtual-Reality-Simulator zum Sicherheitstraining von Kranfahrern. Untersuchung des Einsatzes von Virtual Reality zur Simulation extremer Gefahrensituationen; wt Werkstattstechnik online 97 (2007), No.5, S.376-380
- [93] For Construction Pros.com: Volvo launches Dig Assist in North America - an Intuitive Machine Control Solution for Crawler Excavators; online unter: <http://www.forconstructionpros.com/construction-technology/article/12318298/volvo-launches-dig-assist-in-north-america-an-intuitive-machine-control-solution-for-crawler-excavators>
- [94] Sick Sensor Intelligence. Collision awareness; online unter: <https://www.sick.com/us/en/industries/mining/surface-mining/collision-awareness/c/g311909>
- [95] Microsoft Magazin. HoloLens – Einführung in HoloLens, Teil 2: Räumliche Zuordnung; online unter: <https://msdn.microsoft.com/de-de/magazine/mt745096.aspx>
- [96] Bangemann, C.: Infrarotlicht und Wärmebildkameras. Nachtsichtgeräte sollen Unfälle verhindern; online unter: <https://www.auto-motor-und-sport.de/testbericht/infrarotlicht-und-waermebildkameras-nachtsichtgeraete-sollen-unfaelle-verhindern-1063255.html>
- [97] PRECO Electronics. PreView Sentry; online unter: <http://preco.com/sentry/>
- [98] For Construction Pros.com: Cameras and Radar Activate Safety on Site; online unter: <http://www.forconstructionpros.com/business/construction-safety/detectable-warnings/article/12125610/combined-camera-and-radar-technologies-enhance-construction-site-safety>
- [99] FloSolve. Construction cranes; online unter: <http://www.flosolve.co.za/index.php/products/orlaco/cranes>
- [100] SlashGear: Vuzix M2000AR smart glasses debut Nokia hologram AR tech; online unter: <https://www.slashgear.com/vuzix-m2000ar-smart-glasses-debut-nokia-hologram-ar-tech-10308297/>
- [101] ExtremeTech: Land Rover X-ray vision sees through the car's hood when off-roading, hill-climbing; online unter: <https://www.extremetech.com/extreme/180377-land-rover-x-ray-vision-sees-through-the-cars-hood-when-off-road-hill-climbing>
- [102] Günthner, W.A.; Bengler, K.; vom Stein, M.; Knott, V.: Einsatz der Augmented-Reality-Technologie zur Unterstützung des Fahrers von Flurförderzeugen. Forschungsbericht der TU München, München, 2015
- [103] Kühn, M.; Rose, A.; Seifert, K.: Untersuchung des Fußgänger-Fahrzeug-Unfalls hinsichtlich des Fahrerhaltens, Zentrum für Mensch-Maschine-Systeme; TU Berlin. URL: http://www.mangoldinternational.com/fileadmin/Media/Referenzen/Publications/Downloads/Untersuchung_Fussgaenger_Fahrzeug_Unfall_hinsichtlich_des_Fahrerhaltens.pdf, Aufruf am 21.01.2015.
- [104] Billingham, Mark: COSC 426: Augmented Reality. Lecture 6: AR User Interface Guidelines. online unter <https://de.slideshare.net/marknb00/2013-lecture-6-ar-user-interface-design-guidelines>, 2013, abgerufen am 6.10.2017
- [105] DHL Trend Research: Augmented Reality in Logistics. Changing the way we see logistics – a DHL perspective, 2014
- [106] Human Interface Guidelines. Augmented Reality. online unter <https://developer.apple.com/ios/human-interface-guidelines/technologies/augmented-reality/>, abgerufen am 6.10.2017
- [107] Dörner, Ralf; et al: Interaktion in Virtuellen Welten. In: Dörner, R.; Broll, W.; Grimm, P.; Jung, B.(Hrsg.): Virtual und Augmented Reality (VR/AR), S. 176. Springer Vieweg Verlag Berlin Heidelberg 2013
- [108] LaViola, Joseph; Kruiff, Ernst; McMahan, Ryan; Bowman, Doug; Pouprey, Ivan: 3D User Interfaces. Theory and Practice. Addison-Wesley, 2017
- [109] Jerald, Jason: The VR Book. Human-Centered Design for Virtual Reality. Association for Computing Machinery (ACM) and Morgan & Claypool Publishers, New York / USA: 2016
- [110] Norman, D.A.: The Design of Everyday Things, Expanded and Revised Edition. Human Factors and Ergonomics in Manufacturing. New York: Basic Books, 2013
- [111] MacWilliams, Asa; Reicher, Thomas; Klinker, Gudrun; Bruegge, Bernd: Design Patterns for Augmented Reality Systems. Mixer 2004; online unter <http://campar.in.tum.de/pub/macwilli2004patterns/macwilli2004patterns.slides.pdf>, abgerufen am 6.10.2017
- [112] Ortman, E. and Swedlund, K.: Guidelines for user interactions in mobile augmented reality; M.S. dissertation, Umeå University, 2012
- [113] Rinneberg, S. M.: Assistenzfunktionen für Erdbaumaschinen mittels Identifikationstechnologie; Dissertation and der TU München, München, 2015
- [114] Rodríguez, L. et al: Developing a Mixed Reality Assistance System based on Projection Mapping Technology for Manual Operations at Assembly Workstations; 2015 International Conference on Virtual and Augmented Reality in Education, Monterey, Mexiko, 2015
- [115] Subhashini Ganapathy: Design Guidelines for Mobile Augmented Reality: User Experience - Human Factors in Augmented Reality Environments, Springer, 2013
- [116] Turner, Kai: Design Patterns in AR apps. online unter <https://de.slideshare.net/kaigani/ux-design-patterns-for-augmented-reality-ar-apps-games>; abgerufen am 6.10.2017

- [117] UX Modes. online unter <https://uxmodes.com/>, abgerufen am 6.10.2017
- [118] Tango. Erkunde die Welt um dich herum; online unter: <https://get.google.com/tango/>
- [119] golem.de. IT-News für Profis. Zenfone AR: Asus bringt erstes Smartphone mit Daydream und Tango; online unter: <https://www.golem.de/news/zenfone-ar-asus-bringt-erstes-smartphone-mit-daydream-und-tango-1701-125392.html>
- [120] Lenovo Produkte Phab Serie Smartphones. Phab 2 Pro; online unter: https://www3.lenovo.com/de/de/smartphones-and-watches/lenovo/phab-series/c/phab-series?cid=de:sem|se|google|234540860661|DE+-+B+-+Phab+2+%28e%29|G+-+DE+-+EMEA+-+Lenovo+-+PS+-+B+-+Tablet+-+Phab|753734585&s_kwcid=AL!4311!3!226286050000!e!!g!!lenovo%20phab2&ef_id=WJQ8HwAAB-HzLe886:20171027080553:s
- [121] Dell Venue 8 7840 im Test: Erstes Tablet mit Intel RealSense-Kamera; online unter <https://www.netzwelt.de/dell-new-venue-8-7840/testbericht.html>
- [122] Dell stoppt Entwicklung von Android-Tablets; online unter <http://www.computerbild.de/artikel/cb-News-Tablets-Dell-Ende-Venue-Android-Tablets-15868163.html>
- [123] ARCore: Augmented reality at Andoid scale; online unter: <https://www.blog.google/products/google-vr/arcore-augmented-reality-android-scale/>
- [124] Wikipedia. Simultaneous Localization and Mapping; online unter: https://de.wikipedia.org/wiki/Simultaneous_Localization_and_Mapping
- [125] Apple Developer. iOS. Introducing ARKit; online unter: <https://developer.apple.com/arkit/>

8. Impressum

Verantwortlich für die Inhalte dieser Publikation ist das Virtual Dimension Center (VDC) Fellbach. Die Inhalte wurden mit größter Sorgfalt erstellt. Für die Richtigkeit, Vollständigkeit und Aktualität der Inhalte kann jedoch keinerlei Gewähr übernommen werden. Die Inhalte unterliegen dem deutschen Urheberrecht. Die Vervielfältigung, Bearbeitung, Verbreitung und jede Art der Verwertung außerhalb der Grenzen des Urheberrechts bedürfen der schriftlichen Zustimmung des Erstellers.

Verantwortlich für den Inhalt:

Virtual Dimension Center (VDC) Fellbach
Kompetenzzentrum für Virtuelle Realität und kooperatives Engineering w.V.
Prof. Dr. Christoph Runde
Auberlenstr. 13
70736 Fellbach
URL: www.vdc-fellbach.de

Kontakt:

Tel.: +49(0)711 58 53 09-0
Fax : +49(0)711 58 53 09-19
Email: info@vdc-fellbach.de

Förderhinweis:

Das Projekt wird vom Bundesministerium für Bildung und Forschung unter dem Förderkennzeichen 16SV8746 gefördert.

