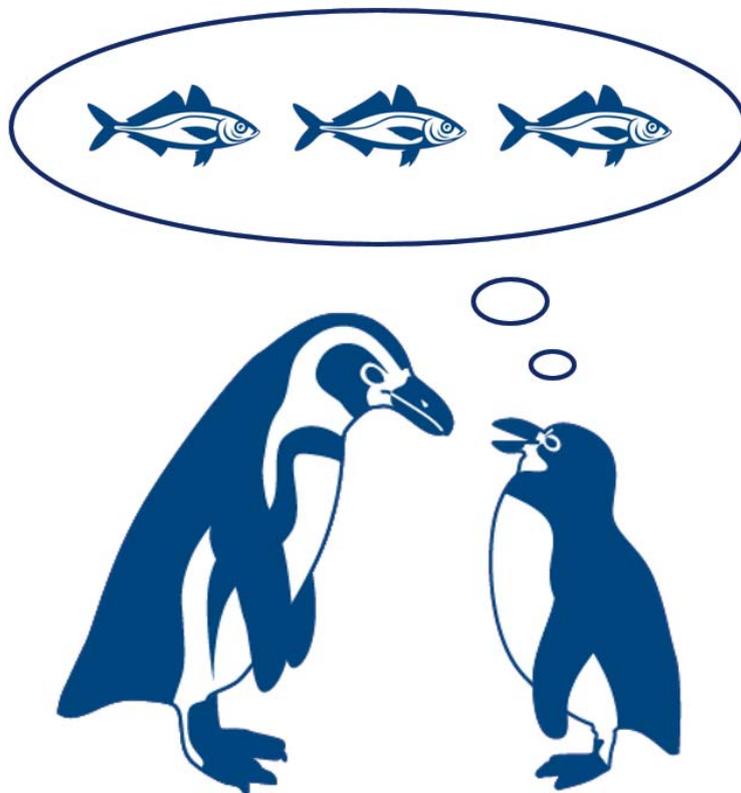


Anhang 01

Technische Grundlagen Gestensteuerung

museum4punkt0-Teilprojekt „(Digital) MEER erleben“
Fraunhofer IPMS & Deutsches Meeresmuseum

Autor*innen: Marco Kircher, Karsten Goletz, Anke Neumeister
Stand: Juni 2023



Inhaltsverzeichnis

I. Einleitung – Warum Gestensteuerung im Museum?	3
II. Gestenerkennung – wie funktioniert das eigentlich?	4
1. Das Prinzip	4
2. Die verschiedenen Verfahren	5
a. Optische Systeme	6
b. Akustische Systeme	6
c. Optische und akustische Verfahren im Vergleich	7
III. Optische und akustische Systeme am Markt und in der Forschung	8
1. Optische Systeme	8
2. Akustische Systeme	9
IV. Exkurs: L-CMUT	9
V. Anwendung von Gestensteuerungssystemen im Museum	11
1. Herausforderungen	11
2. Gestensteuerung für alle? Mit modularen quellcodeoffenen Anwendungen zum Standardsystem	11
3. Forschungsk Kooperationen als Weg	11
VI. Unser Gestensteuerungsspiel, auch Demonstrator genannt	12
1. Das Funktionsprinzip	12
2. Inhalt und Ablauf des Gestensteuerungsspiels	13
VII. Literaturverzeichnis	15

I. Einleitung – Warum Gestensteuerung im Museum?

Gesteuerung macht Spaß, eignet sich für gamingorientierte Anwendungen, ist aber viel mehr als nur eine nette Attraktion. Diese Technologie ist bereits in verschiedensten Bereichen abseits des Kulturbetriebs als niedrigrschwellige Möglichkeit der Mensch-Maschine-Interaktion etabliert.

Das betrifft vor allem folgende Einsatzgebiete:



Die zunehmende Nutzung von Gestensteuerungssystemen steht in einer Entwicklungslinie, die mit den ersten Personal Computern begann. Seither haben sich Rechnerleistung und Datenverarbeitungsfähigkeiten stetig weiterentwickelt. Dieser Wandel ging einher mit einer ebenso stetigen Erleichterung der Interaktion von Mensch und Maschine. War anfangs noch Fachwissen über Programmiersprachen erforderlich, um Computer bedienen zu können, arbeiten wir nun ganz selbstverständlich mit relativ einfach erfassbaren Anwender*innenprogrammen. Schon ist absehbar, dass KI-basierte Sprachsteuerung Mensch und Maschine in einen Dialog treten lassen, für den Menschen keinerlei spezifische Anwender*innenkenntnisse erforderlich sind.

In der Entwicklungslinie hin zu einer immer selbstverständlicheren Interaktion ist, unserer Einschätzung nach, auch die Anwendung von Gestensteuerungssystemen zu sehen. Gesten werden als eine Interaktionstechnik betrachtet, die potenziell natürlichere, kreativere und intuitivere Methoden für die Kommunikation mit unseren Computern bieten kann. (Rautaray und Agrawal 2015, S. 1).

Insofern ist damit zu rechnen, dass Gestensteuerungssysteme, die in der Automobilindustrie schon seit Längerem, z. B. beim berührungslosen Öffnen von Kofferraumklappen, üblich sind, bald auch auf anderen Einsatzgebieten ein selbstverständlicher Teil unseres Alltags werden.

Doch was haben Kofferraumklappen mit Museen zu tun? Warum sollten wir als Museen daran interessiert sein, technische Trends aus der Wirtschaft abzubilden? Laufen wir nicht damit Entwicklungen hinterher, ohne hier je einen Spitzenplatz belegen zu können?

So berechtigt solche und ähnliche kritische Fragen sind, sollten sie uns jedoch nicht davon abhalten, Technologien mutig auszuprobieren, sofern durch ihre Anwendung ein Mehrwert für die Vermittlung musealer Inhalte aufgrund plausibler Annahmen zu erwarten ist. Diese Bedingung erfüllen Gestensteuerungssysteme nach unserem Verständnis voll und ganz. Seit längerer Zeit sind Museen auf der Suche nach Inter-

Abbildung 1: Auszug aus Fraunhofer IPMS interner Aufarbeitung zu Technologietrends in der Gestensteuerung

aktionsmöglichkeiten, die Besucher*innen aus einer reinen Betrachtungshaltung herausholen und Wissensvermittlung durch eigene Aktivität fördern. Diesen Ansatz verfolgte nicht zuletzt das Gesamtprojekt museum4punkt0.

Gestensteuerungssysteme eröffnen ein breites Spektrum an Interaktionsmöglichkeiten, da potenziell die ganze Vielfalt von menschlichen Handgesten für die Verständigung mit einer digitalen Anwendung genutzt werden kann. Technologische Aktualität in diesem Bereich könnten wir als Museen durch Partnerschaften mit praxisorientierten Forschungsinstitutionen erreichen.

Im Folgenden wird skizziert, wie die Gestenerkennung (GE) als Voraussetzung jedes Steuerungssystems grundsätzlich funktioniert, welche Lösungen es bereits gibt und welches Potenzial in der Vernetzung von Forschungseinrichtungen und kulturellen Einrichtungen besteht.

Nicht zuletzt soll die technische Funktionalität des Gestensteuerungsspiels, das vom Fraunhofer-Institut für Photonische Mikrosysteme und dem Deutschen Meeresmuseum im Rahmen des Teilprojekts „(Digital) MEER erleben“ gemeinsam erarbeitet wurde, kurz dargestellt werden.

Einen entscheidenden Beitrag zu dieser Übersicht verdanken wir Marco Kircher, Projektleiter am IPMS. Technische Wissenschaften und Kultur, so soll hier auch gezeigt werden, können voneinander lernen, haben jedoch naturgemäß unterschiedliche Blickwinkel, was sich teilweise auch in unterschiedlicher Terminologie ausdrückt. So sprechen wir von einem Spiel, während die Anwendung beim IPMS unter dem marketingtechnisch nicht unbedingt eingängigen Begriff „Gestensteuerungsdemonstrator“ firmierte. Dieser begriffliche Unterschied wurde im Text nicht harmonisiert. Schließlich haben beide Bezeichnungen ihre Berechtigung. Der Demonstrator zeigt spielerisch und beispielhaft die Anwendungsmöglichkeiten aktueller Gestenerkennungstechnologie im Museum.



Abbildung 2: Marco Kircher erklärt einer Nutzerin den Gestensteuerungsdemonstrator am Abend der WikiCon 2022 im OZEANEUM, Foto: Anke Neumeister/Deutsches Meeresmuseum

II. Gestenerkennung – wie funktioniert das eigentlich?

1. Das Prinzip

Der Begriff der Geste ist beinahe so facettenreich wie ihre Ausdrucksmöglichkeiten. Daher ist klärend voranzustellen, dass wir uns im Folgenden auf durch Bewegung entstehende berührungslose Handgesten beziehen.

Grundsätzlich folgt, unabhängig von der Art der Geste, jedes Erkennungssystem dem hier dargestellten Ablauf:



Am Anfang steht die Handbewegung. Damit sie durch einen Sensor erkannt und verarbeitet werden kann, muss der Sensor ein Signal in Richtung der gestikulierenden Person aussenden. Dieses Signal ist zwar ursprünglich elektronisch basiert, bedarf aber der Umwandlung in einen analogen Impuls. In unserem Beispiel werden dazu über einen Signalwandler Ultraschallwellen erzeugt und ausgesendet. Trifft der Impuls auf die sich bewegende Hand, gehen Wellen teilweise an ihr vorbei. Andere jedoch werden reflektiert und gelangen so zurück an den Sensor, wo sie zurück in elektrische Signale gewandelt werden. So kann das Gerät die erhaltenen Informationen sammeln. Mithilfe komplexer Computerprogramme bewertet das Gerät anschließend die gesammelten Informationen. Da sie selten eindeutig sind, findet hier, ähnlich wie beim Zusammenspiel zwischen Ohr und Gehirn eine Wahrscheinlichkeitsbetrachtung statt. Nachdem die wahrscheinlichste Geste festgestellt wurde, wird im Programm die der Geste zugeordnete Reaktion ausgeführt.

Abbildung 3: Grundlegende Architektur eines GE-Controllers. Eine Geste wird ausgeführt, das Sensor Modul erkennt mit entsprechendem Sensor die Geste. Anschließend wird die Geste analysiert, erkannt (klassifiziert) und eine Reaktion ausgegeben. (nach Berman und Stern 2012, S. 277)

2. Die verschiedenen Verfahren

Um das Prinzip der Gestenerkennung zu erläutern, wurde oben die akustische Erkennung als Beispiel gewählt. Jedoch werden neben Schall auch andere Signale zur Gestenerkennung verwendet. Im Folgenden soll es nun darum gehen, verschiedene Verfahren darzustellen, um davon ausgehend jeweilige Vor- und Nachteile zu zeigen.

Rein technisch kann eine Einteilung der Gestenerkennung über die Art der Signalwandlung erfolgen. Weiterhin denkbar ist es, Gestenerkennungssysteme nach deren Nutzungskontext oder der verwendeten Sensorplattform zu klassifizieren (Berman und Stern 2012).

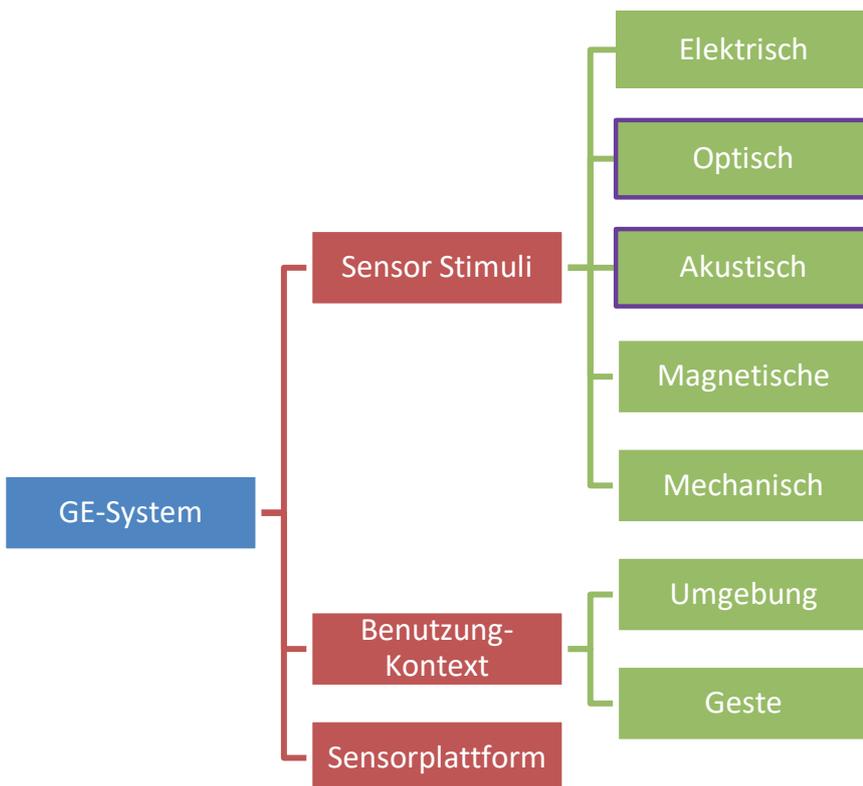


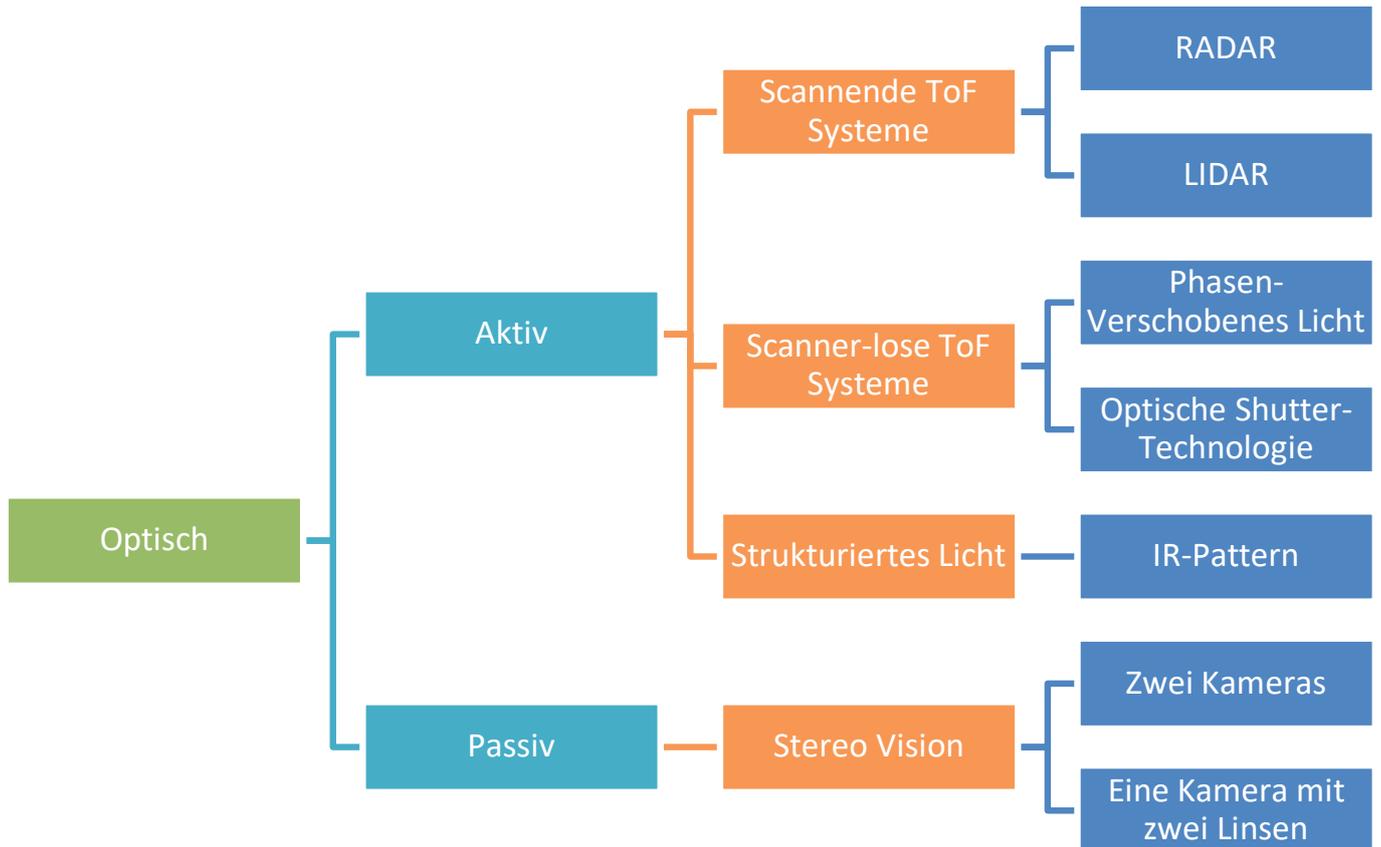
Abbildung 4: Die Kategorisierung ist in drei Hauptkomponenten unterteilt: Sensorstimuli, Nutzungskontext und Sensorplattform. Jede dieser Kategorien wird weiter in ihre wichtigsten Deskriptoren unterteilt. Dabei liegt der Fokus in diesem Beitrag auf den optischen und akustischen Sensoren. (nach Berman und Stern 2012, S. 279)

Der Leitfaden, zu dem dieser Anhang gehört, steht unter der Überschrift „Kontaktlos berührt!“. Um eine kontaktlose Gestenerkennung zu ermöglichen, können nur optische, elektrische und akustische Systeme verwendet werden. Dabei können Systeme, die auf der Erfassung von Informationen über Bewegungen im elektrischen Feld beruhen, für den Einsatz im Museum als derzeit nicht relevant eingeschätzt werden. Daher sollen im Folgenden auch lediglich optische und akustische Systeme näher betrachtet werden.

a. Optische Systeme

Die bildbasierten bzw. optischen Systeme lassen sich in verschiedene Verfahren einteilen. Eine mögliche Einteilung enthält die nachfolgende Grafik.

Abbildung 5: Bildbasierte Gestenerkennung (in Anlehnung an Berman und Stern 2012, S. 279)



Die Abbildung zeigt zunächst die grundsätzliche Einteilung in aktive und passive Verfahren. In Letzteren empfängt das Gerät optische Signale, ohne Licht in Richtung einer Person auszusenden. Dies geschieht beispielsweise, indem mit zwei oder mehr Kameras ein 3-D-Bild erstellt wird, das dann durch ein Programm ausgewertet werden kann.

Dem gegenüber stehen aktive Verfahren, bei denen Licht ausgesendet und seine Reflexion durch die menschliche Hand als analoges Eingangssignal weiterverarbeitet wird. Ein inzwischen relativ weit verbreitetes aktives optisches Verfahren ist LIDAR (Light Detection and Ranging). Dabei wird ein Lasersignal eingesetzt. Der zeitliche Abstand zwischen Senden und Empfangen der Reflexion (Time of Flight; ToF) wird erfasst und ausgewertet. Auf diese Weise ist die Verarbeitung detaillierter Informationen zum mittels Laser abgetasteten Objekt möglich.

b. Akustische Systeme

Akustische Systeme basieren in ihrer praktischen Anwendung ausschließlich auf Ultraschall, also Schallwellen oberhalb des vom menschlichen Ohr wahrnehmbaren Frequenzbereichs. Zwar wäre durchaus auch die Anwendung von Hörschall denkbar, doch wer möchte schon einen lärmenden Sensor? Daher stellt die nachfolgende Abbildung lediglich das Prinzip der ultraschallbasierten Gestenerkennung dar.



Abbildung 6: Akustische Gestenerkennung

Der Transmitter sendet dabei ein Schallsignal (Burst) aus, das über mindestens zwei Mikrofone empfangen wird. Abhängig vom Zeitpunkt des empfangenen Signals lassen sich mittels Triangulation und anhand des Time of Flight die Richtung und Entfernung des schallreflektierenden Objekts bestimmen.

Das Verfahren gleicht im Prinzip dem menschlichen Hören. Indem ein Ton mit leichter Verzögerung das jeweils andere Ohr erreicht, lokalisiert das Gehirn die Richtung der Schallquelle. Die Nutzung des Doppler-Effekts erlaubt es, auch die Geschwindigkeit des schallreflektierenden Objekts zu berechnen. Dabei wird die Beobachtung genutzt, dass sich der vom Empfangsgerät aufgezeichnete Abstand zwischen den Bergen der ausgesendeten bzw. reflektierten Schallwellen verringert, wenn sich das schallaussendende Objekt auf die Empfangsvorrichtung zubewegt. Das Verhältnis von Geschwindigkeit und Abstand der Schallwellenberge ist mit einer mathematischen Formel darstellbar. Daher ist eine präzise Geschwindigkeitsermittlung möglich.

Das Fraunhofer IPMS verwendet ein solches ultraschallbasiertes Verfahren für den Sensor, der nun auch im Deutschen Meeresmuseum eingesetzt wird. Weitere Einzelheiten zur Technologie des verwendeten mikromechanischen L-CMUT-Ultraschallwandlers sind im entsprechenden Abschnitt weiter unten ausgeführt.

c. Optische und akustische Verfahren im Vergleich

Ein drastischer Unterschied zwischen der optischen und akustischen Gestenerkennung sind die genutzten physikalischen Grundprinzipien. So breitet sich Licht mit einer Geschwindigkeit von 300 000 Kilometer in der Sekunde und Ultraschall nur mit 0,33 Kilometer in der Sekunde aus. In der Zeit, in der Ultraschall einen Weg von ca. 30 Zentimeter durchquert hat, wurde vom Licht die Strecke von Stralsund bis nach Hamburg zurückgelegt.

Somit ergibt sich aktuell ein wesentlicher Unterschied in der Signalqualität. Gerade Systeme, die eine Lichtquelle voraussetzen, sind immer Einflüssen des Umgebungslichts ausgesetzt. Die Strecke, die Licht in Luft zurücklegt, ehe der Lichtstrahl zum Erkennen zu schwach wird, verändert sich nur sehr gering (geringe Dämpfung). Dadurch können Lichtstrahlen schnell große Strecken zurücklegen, im Gegensatz zum Ultraschall. Diese Schallwellen kommen, abhängig von der Frequenz, bereits nach wenigen Zentimetern bis einigen Metern zum Erliegen (vollständige Dämpfung) und ist nicht mehr messbar. Der Einfluss von Störeinflüssen ist damit gering. Daher sind akustische Systeme für Ausstellungsflächen mit schwierigen Lichtverhältnissen empfehlenswert, so etwa auch für das OZEANEUM. Andererseits ergeben sich aus der hohen Dämpfungsrate von Ultraschallwellen auch räumliche Grenzen für eine Anwendung. Um größere Entfernungen zwischen der das Signal auslösenden Person und dem erfassenden Sensor zu überbrücken, bieten optische Systeme Vorteile.

III. Optische und akustische Systeme am Markt und in der Forschung

Der Fokus des gemeinsamen Projekts von Fraunhofer IPMS und Deutschem Meeresmuseum lag darauf, die Möglichkeiten der Zusammenarbeit von praxisorientierten Forschungsinstituten und Museen im Bereich der digitalen Entwicklung zu erkunden. Dennoch lohnt es sich, an dieser Stelle einen Seitenblick auf am Markt verfügbare Systeme zu werfen. Nicht immer ist es möglich und wirtschaftlich sinnvoll, Anwendungen direkt aus der Forschung zu adaptieren. Der Markt hält hier vielfältige Gestenerkennungssysteme auf optischer und akustischer Grundlage bereit. Neben einem Marktüberblick sollen die nachfolgenden Ausführungen jedoch auch Schwerpunkte aktueller Forschung kurz beleuchten.

1. Optische Systeme

Bei den scannenden Systemen ist unter anderem der Google Mutterkonzern Alphabet Inc. aktiv mit einer RADAR-Lösung „soli“ (Google 2022). Hier erkennt ein Sensor beispielsweise, ob eine Person auf einen Bildschirm schaut oder nicht. Einfache Gesten sind ebenfalls erkennbar. Die Lösung wurde bereits in das Google Pixel 4 Smartphone oder das NEST Thermostat zur Erkennung von anwesenden Personen integriert. Möglichkeiten der Personenerkennung im Raum sind daneben auch weiterhin Teil von Forschungsarbeiten (Hayashi et al. 2021).

Im LIDAR-Bereich sind Automobilhersteller mit dem Fokus auf autonomes Fahren besonders aktiv. Es ist eine beliebte Methode, um dem Auto „Augen“ zu verleihen (Modus 2022; LeddarTech 2022). Die gleiche Technik wird auch in Satelliten eingesetzt, um Eisschichten und Bewölkung zu bestimmen (Katoch 2022). Festgehalten werden muss an dieser Stelle, dass derartige Anwendungen keine Gestensteuerungssysteme im Sinne des gemeinsamen Projekts von Fraunhofer IPMS und Deutschem Meeresmuseum sind.

Die Kameras der Time of Flight – der Auswertung der Dauer des Lichts, wie lange es bis zum Objekt und zurück zum Empfänger benötigt – werden unter anderem von Microsoft in ihrer Azure Kinect eingesetzt. Die Funktionsweise beschreibt Microsoft in einer wissenschaftlichen Veröffentlichung ausführlich (vgl. Bamji et al. 2018, S. 94).

Die vorherige Variante (Kinect für Xbox) verwendete noch die Stereovision mit zwei Kameras (Wikipedia 2022). Das gleiche Prinzip verwendet auch Intel® RealSense™ Tiefenkamera, die eher für die Abstandserkennung autonomer Fahrzeuge verwendet wird (Intel® RealSense™ Depth and Tracking Cameras 2021).

Die Technologie der Stereovision wendet auch das Unternehmen Ultraleap (Stereo IR 170 Camera Module) an. Auch hier werden Infrarotbilder ausgewertet.

Eine weitere Anwendung optischer Gestenerkennung findet sich im Einsatz von strukturiertem Licht, wie es Apple in seinen iPhones einsetzt (Apple 2022). Dabei sendet das iPhone oder iPad ein Infrarot-Muster, dessen Reflexion zur Ermittlung von Tiefeninformation über das betrachtende Gesicht verwendet wird. Die Technologie ist nicht für Handgesten ausgelegt, kann aber Mimik erkennen und wäre theoretisch für Handgesten einsetzbar. Auch Hersteller wie ams-osram unterstützen die aktuelle Entwicklung in der Gesichtserkennung (ams-osram 2022).

Ein großer Markt, der sich nicht speziell auf die vollständig berührungslosen Anwendungen bezieht, ist die Motion Capture (mocap) Technologie. Hier werden Bewegungen von Personen über Marker (weiße Kugeln; farbige Kleidung) am Körper gescannt. Großen Einsatz findet diese Technologie in der Spiele-Entwicklung und im Film (computer generated imagery, CGI). Eine weitere Anwendung mit starker praktischer Relevanz findet sie in der Sportmedizin: Sportler tragen dabei Marker oder Beschleunigungssensoren, um Belastungen und Bewegungen zu optimieren (NaturalPoint, Inc. 2023; BTS Bioengineering 2022; Vicon 2022; Xsens 2022; Advanced Realtime Tracking GmbH & Co 2022).

2. Akustische Systeme

In der akustischen Gestenerkennung ist aktuell das Unternehmen Elliptic Labs aktiv, das die integrierten Lautsprecher und Mikrofone des Geräts, z. B. des Computers oder Smartphones nutzt, um die Anwesenheit von Personen und einfache Gesten zu erkennen (Elliptic Labs 2022).

In diesem Bereich ist auch Microsoft in der Forschung engagiert. Hier entwickeln die Mitarbeiter*innen ein Verfahren, das vormontierte Bauteile des Computers ähnlich wie die von Elliptic Labs entwickelte Technologie nutzt (Microsoft Research 2021; Gupta et al. 2012).

Ein anderes Verfahren stellt das Unternehmen Ultraleap vor. Neben einer dreidimensionalen Positionsbestimmung bietet es auch eine Plattform an, die es ermöglicht, in der Luft ein haptisches Feedback über Ultraschallsignale zu erhalten. Dabei senden viele Lautsprecher Schallwellen aus, die sich an einem Punkt konzentrieren und damit genug Druck erzeugen, um ertastet zu werden. Vielleicht vergleichbar mit einem leichten Luftstrom aus einer Fahrradpumpe.

Im Forschungsumfeld entwickelten Forscher*innen in einem EU-Projekt eine ultraschallbasierte Gestenerkennung (Putz et al. 2020). In dem Projekt gelang es, acht Gesten über Ultraschall zu detektieren. Die Forscher*innen wendeten hier ein Verfahren an, dass der vom Deutschen Meeresmuseum genutzten Technologie ähnelt. Mittels kapazitiver mikromechanischer Ultraschallbauteile (L-CMUT) können Bewegungen und Haltungen von Händen und Armen erkannt werden. Eine Darstellung des Prinzips bietet die Abbildung 7.

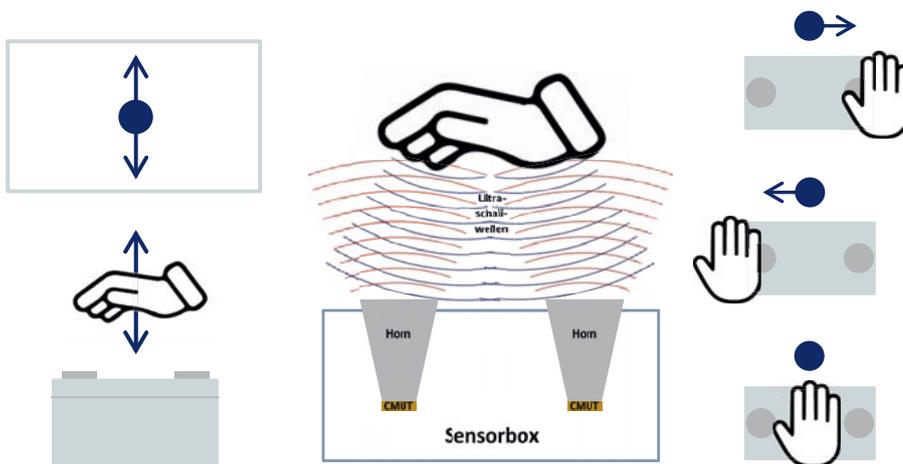


Abbildung 7: Prinzip der Gestensteuerung des Demonstrators für das Deutsche Meeresmuseum, Grafik: Fraunhofer IPMS

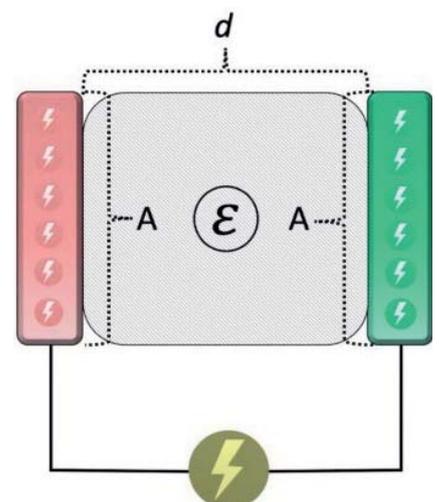
Abbildung 8: Parallelkondensator mit zwei gegenüberliegenden Metallplatten. Die rote Platte ist dabei festgehalten. Elektrischer Strom verändert die elektrische Ladung zwischen den beiden Platten im grauen Bereich. (Schoeneck 2022)

IV. Exkurs: L-CMUT

Das nachfolgende Kapitel bietet eine ausführliche technische Beschreibung der in unserem Projekt eingesetzten Ultraschallwandler, von denen bisher bereits mehrfach die Rede war. Leser*innen, denen lediglich an einer Überblickshafte Orientierung zum Thema Gestensteuerung gelegen ist, können die nachfolgenden Ausführungen ohne Verlust für den Gesamtzusammenhang überspringen.

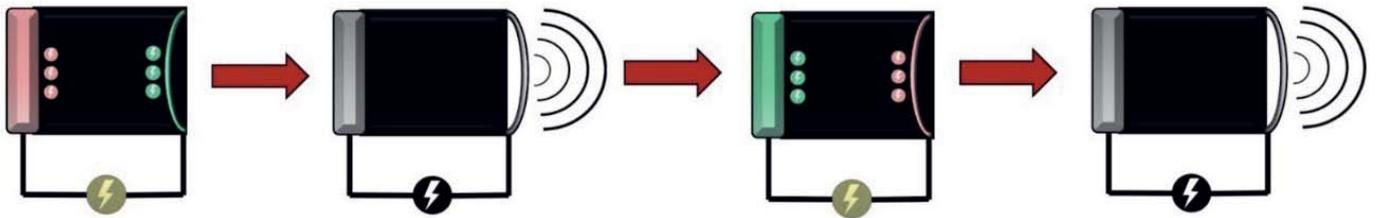
Die verwendeten L-CMUTs (Laterale kapazitive mikromechanische Ultraschallwandler) sind aufgebaut wie einfache Kondensatoren: Zwei Metallplatten liegen einander gegenüber und berühren sich nicht (siehe Abbildung 8).

Dieselbe elektrostatische Kraft, die Haare nach Berührung mit einem Wollpullover zu Berge stehen lässt, zieht die in Abbildung 9 dargestellte grüne Platte an. Der Effekt wird hier jedoch nicht durch Reibung, sondern durch Stromfluss erreicht.



Elektrostatische Anziehung kann auch für das Senden von Schall zur akustischen Gesteinerkennung verwendet werden, wie in den folgenden Abbildungen ersichtlich wird. Wechselt man die Flussrichtung des Stroms schnell, können die Platten den Schall senden.

Abbildung 9: CMUT-Ultraschallübertragung mithilfe von Wechselstrom (Schoeneck 2022)



Auch der Empfang ist darüber möglich, indem sich der Abstand zu beiden Platten verändert, wie es Abbildung 10 zeigt.

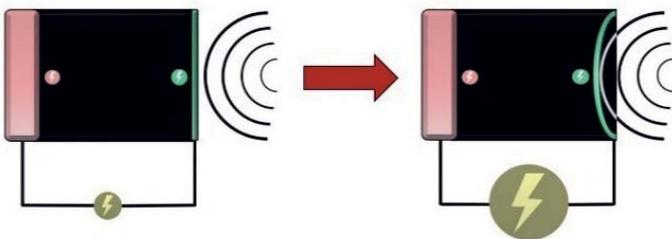


Abbildung 10: CMUT-Ultraschallempfang unter Verwendung von Gleichstrom und Kapazitätsänderungen (Schoeneck 2022)

Die in diesem Projekt eingesetzten L-CMUT (vgl. Abbildung 11) nutzen im Unterschied zu nichtlateralen kapazitiven mikromechanischen Ultraschallwandlern (CMUTs) nicht die Oberfläche, sondern das Volumen des Chips, um Ultraschall zu erzeugen. Dazu schwingen eine große Anzahl eng angeordneter elektrostatisch angetriebener Biegebalken parallel zur Oberfläche innerhalb des Chipvolumens. Der Aufbau erlaubt die Adressierung eines Frequenzbereiches von 20 bis 200 kHz. Damit liegt eine sehr gute Eignung für Luftultraschall mittlerer Reichweite vor, da diese abhängig von der Frequenz ist (Conrad et al. 2015).

Darüber hinaus werden, wie in Abbildung 11 ersichtlich, mehrere Plattenkondensatoren (Dachstruktur kleine Bewegungsänderung) mechanisch so verbunden, dass eine erhöhte Auslenkung (Bewegung des grauen Biegebalkens) für die Ultraschallerzeugung entsteht. Durch geeignete Geometrien und Topografien der balkenförmigen Elektroden werden diese Kräfte wiederum in laterale Kräfte transformiert, die zu einer Auslenkung des Balkens führen. So wird eine kleine Bewegung ausgelöst und durch die Veränderungen im elektrischen Feld in größere Amplituden umgewandelt.

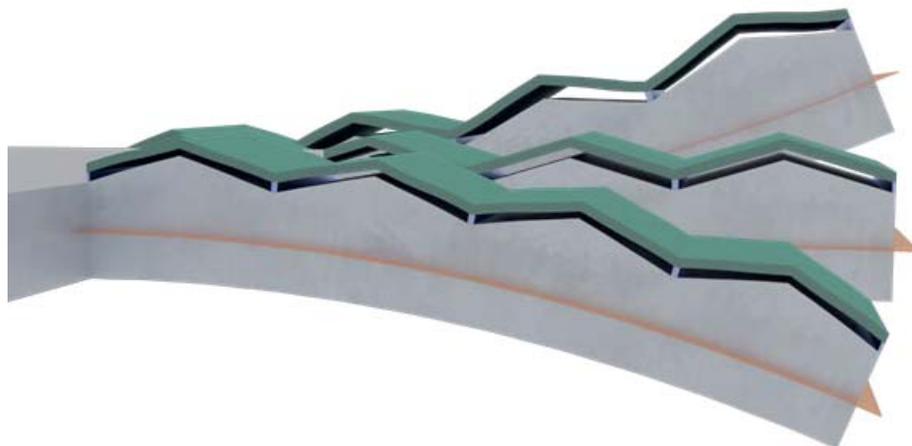


Abbildung 11: L-CMUT-Konzept basierend auf Aktoren, die das Chipvolumen statt der Oberfläche für Funktionsintegration nutzen. Die Draufsicht auf die Abbildung entspricht der Waferoberfläche.

V. Anwendung von Gestensteuerungssystemen im Museum

Nach diesem Exkurs in die Tiefen der Technik soll es nun um die praktischen Anwendungsmöglichkeiten im Museum gehen.

1. Herausforderungen

Im Museumsbetrieb gibt es Anforderungen an Gestenerkennungssysteme, die für die Auswahl der richtigen Technologie eine entscheidende Rolle spielen. Besonders wichtig ist in diesem Zusammenhang die Beachtung der begrenzten Ressourcen. Vieles, was technisch möglich ist, wäre schon im Hinblick auf den Wartungs- und Betreuungsaufwand nicht umsetzbar. So können zum Beispiel Motion Capture Systeme, bei denen weiße Orientierungsmarken am Körper angebracht werden müssen, für die praktische Anwendung außer Betracht bleiben.

Auch in der Hand zu haltende Sensoren, wie sie bei der Nintendo Wii oder Oculus Quest Controllern eingesetzt werden, sind im Hinblick auf den erforderlichen Betreuungsaufwand und das Beschädigungsrisiko insbesondere in stark besuchten Häusern wie dem OZEANEUM des Deutschen Meeresmuseums als nicht empfehlenswert einzuschätzen.

Daher kann grundsätzlich festgestellt werden, dass eine für den Einsatz im Museum geeignete Gestensteuerungstechnologie ohne zusätzliche Hardware wie etwa einen Controller auskommen sollte. Weiterhin wäre es vorteilhaft, wenn eine solche Anwendung wartungsarm gestaltet ist und durch Nutzer*innen selbstständig erschlossen werden kann.

Ausgehend von diesen Herausforderungen gibt es nicht die einzige für den Museumsbetrieb geeignete Anwendung. Vielmehr existieren einige Möglichkeiten, zwischen denen anhand der konkreten Einsatzbedingungen auszuwählen ist.

Das System Leap Motion der Firma Ultraleap, das im Berliner Futurium in Berlin eingesetzt wird, zeigt eine etablierte Technologie, die im direkten Museumskontext bereits erfolgreich implementiert wurde (Futurium 2022; Ultraleap 2023). Ultraleap verwendet dabei optische Gestenerkennung.

2. Gestensteuerung für alle? Mit modularen quellcodeoffenen Anwendungen zum Standardsystem

Gestensteuerungssysteme im Museum müssen sich nicht nur praktisch bewähren. Vielmehr ist es im Hinblick auf die digitale Souveränität kultureller Einrichtungen von großer Bedeutung, die fortwährende Anpassbarkeit eines einmal beschafften Systems zu gewährleisten. Dabei steht nicht das entwicklungsintensive Hinzufügen neuer Gesten im Mittelpunkt. Vielmehr sollte es darum gehen, die rechtlichen und technischen Voraussetzungen für die freie Anpassung von Inhalten zu schaffen. Nur so kann es gelingen, ein modular erweiterbares System zu schaffen, das für eine Vielzahl musealer Anwendungen geeignet ist. Dieses System sollte einen vorprogrammierten Bestand erkennbarer Gesten enthalten. Durch ein einfach bedienbares redaktionelles Backend würde die Zuordnung dieser Gesten zu Ausstellungsinhalten ermöglicht werden. Eine so gestaltete Anwendung könnte nicht nur bisher verwendete berührungssensitive Technologien wie Touchscreens ablösen, sondern wäre auch in der Lage, völlig neue Interaktionsmöglichkeiten im musealen Raum zu schaffen.

Für diesen modularen Ansatz wäre eine Neuentwicklung notwendig, da es am Markt derzeit keine verfügbaren Umsetzungsmöglichkeiten für diese Idee gibt.

3. Forschungsk Kooperationen als Weg

Gestensteuerung ist ein wachsender Markt. Langfristig könnten Eingabegeräte wie Maus, Tastatur und Touchscreens durch diese Technologie abgelöst und eine dritte Ebene der Interaktionen ermöglicht werden. Grand View Research (GVR) prognostiziert über die nächsten zehn Jahre eine zwanzigprozentige Wachstumsrate des

Marktes für Gestensteuerungssysteme in China (Gesture Recognition Market Size & Share Report, 2030 2022). Diese Prognose lässt sich auf andere Industriestaaten übertragen. Daher wird die Entwicklung von neuen Anwendungen in diesem Bereich ein bedeutendes Forschungsfeld bleiben. Doch wie kann es gelingen, museale Anforderungen in eine industriegetriebene Entwicklungslandschaft einzubringen?

Bereits zu Beginn der Zusammenarbeit von Deutschem Meeresmuseum und Fraunhofer IPMS ist aufgefallen, dass es vergleichsweise wenig Überschneidungen zwischen Forschungsthemen und den Bedürfnissen von kulturellen Einrichtungen gibt. Für das Fraunhofer IPMS war das Deutsche Meeresmuseum Stralsund der erste Partner im kulturellen Bereich. Somit ging es zunächst darum, gegenseitiges Verständnis zu schaffen.

Anwendungsorientierte Forschung gestaltet sich oft sehr abstrakt und technisch ergebnisfixiert. Kulturelle Einrichtungen, die im besten Fall einen ganzheitlichen Blick auf ihre Nutzer*innen und Besucher*innen mitbringen, können Forschungsperspektiven gerade dadurch erweitern. In anderer Richtung könnten Museen von der strukturierten, sachlichen und auf die konkreten Herausforderungen gerichteten Herangehensweisen in der anwendungsorientierten Forschung lernen.

Unsere Erfahrung hat gezeigt, dass eine transdisziplinäre Zusammenarbeit wie mit Fraunhofer IPMS für beide Seiten bereichernd sein kann. Es braucht hier allerdings Menschen, die den Kooperationsprozess auf beiden Seiten koordinieren und inhaltlich gestalten. Da das wiederum finanzielle Mittel erfordert, wäre für zukünftige Vorhaben eine spezielle Projektförderung erforderlich, um das Potenzial kulturell-technischer Kooperationen vollständig zu erschließen. Als Inhalt eines solchen Projekts bietet sich die oben beschriebene Basisanwendung zur Gestensteuerung im Museum an.

VI. Unser Gestensteuerungsspiel, auch Demonstrator genannt

Nach einem weiten Ausblick wollen wir den Fokus wieder auf die praktische Arbeit im museum4punkt0-Teilprojekt „(Digital) MEER erleben“ richten.

1. Das Funktionsprinzip

Da das Hauptdokument bereits Ausführungen zum Hintergrund der Beauftragung des Fraunhofer IPMS mit der Konstruktion eines Gestensteuerungsdemonstrators enthält, soll im Folgenden lediglich das Funktionsprinzip dargestellt werden.

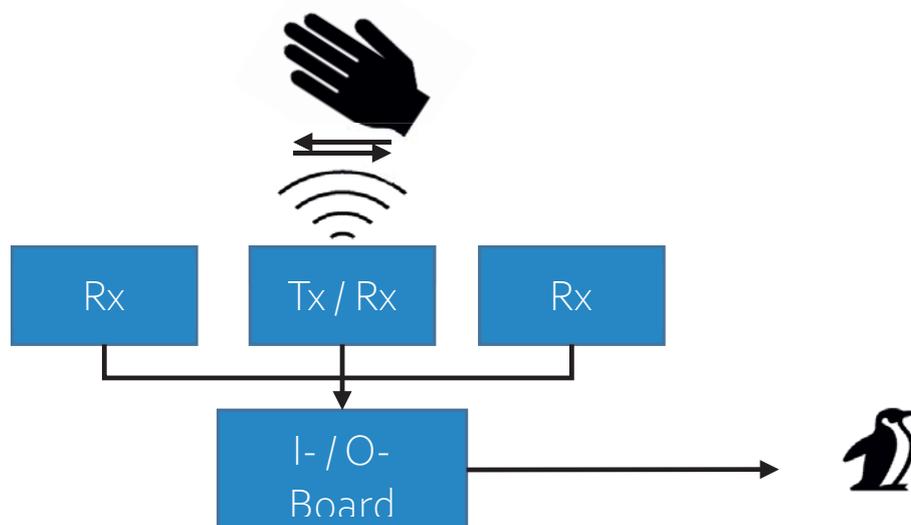


Abbildung 12: Prinzipdarstellung der Gestensteuerung: Ein Ultraschalltransmitter sendet ein Signal aus (Tx). Ein Objekt im Arbeitsbereich des Senders reflektiert das Signal. Das Signal wird von zwei weiteren Empfängern (Rx) aufgenommen und über das I-/O-Board ausgewertet. Abhängig von der durchgeführten Bewegung wird auf einem angeschlossenen Bildschirm ein Programm ausgeführt. In dem Projekt ist die Gestensteuerung in einem Gehäuse verschlossen, sodass die Sensoren nicht von den Nutzer*innen berührt werden können.

Grafik: Fraunhofer IPMS

2. Inhalt und Ablauf des Gestensteuerungsspiels

Wie bereits in vorangegangenen Kapiteln anklang, etablierte sich zwischen Fraunhofer IPMS und Deutschem Meeresmuseum eine vertrauensvolle, von beiden Seiten engagiert vorangebrachte Zusammenarbeit. So war es auch dem Engagement des Projektleiters Marco Kircher zu verdanken, dass wir den Demonstrator mit darauf laufendem Gestensteuerungsspiel bereits vor der Auslieferung an das OZEANEUM mit einem Fachpublikum testen konnten. Auf der Werkschau des Gesamtverbundes museum4punkt0 im Haus Bastian der Staatlichen Museen zu Berlin wurde das Spiel vielfach ausprobiert.

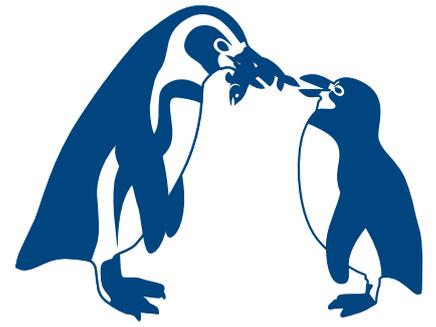
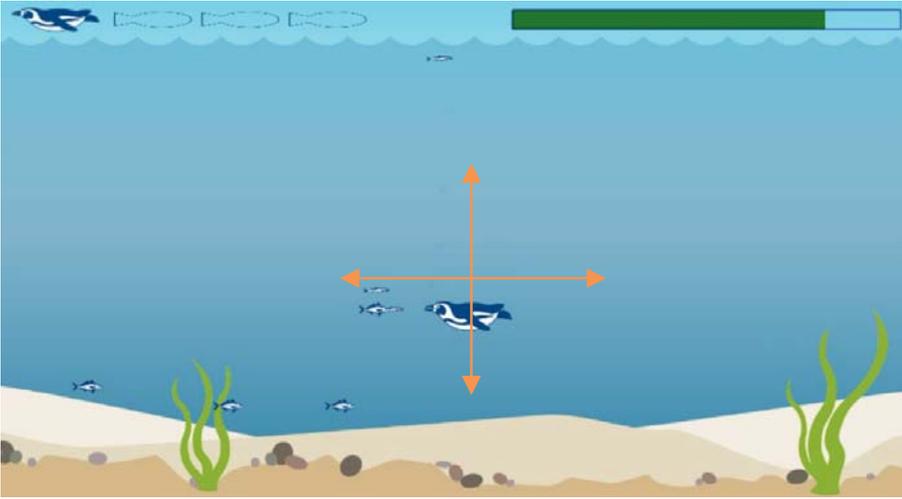


Abbildung 13: Erster Test mit Nutzer*innen vor Ort bei der museum4punkt0-Werkschau, Foto: SPK/photothek.de/Thomas Trutschel

Rückmeldungen der Nutzer*innen halfen uns dabei, erste Verbesserungen vorzunehmen, zum Beispiel beim Onboarding: Als erste Übung sollte dabei ursprünglich eine kleine Kugel mit der Hand in die Mitte eines Kreuzes navigiert werden. Das war eine Aufgabe, an der nicht wenige digital erfahrene User*innen im ersten Anlauf scheiterten. Somit entfernten wir diese Art des Onboardings, denn das Spiel funktionierte auch ohne diese offensichtliche Hemmschwelle.

Die Szenerie des Spiels gestaltet sich wie folgt:

In einer örtlich nicht näher bestimmten Unterwasserwelt sehen User*innen einen tauchenden Humboldt-Pinguin. Mittels Handgesten kann der Pinguin durch das Wasser gelenkt werden (Abbildung 14). Dabei werden vertikale und horizontale Bewegungen der Hand umgewandelt, um den Pinguin aufsteigen und absinken sowie auf Fische hinzu schwimmen zu lassen. Ziel des Spiels ist es, in möglichst kurzer Zeit drei Fische zu fangen, die dann an das Küken der Pinguinfamilie verfüttert werden (Abbildung 14). Mit dem Spiel verbunden sind Informationen zur Lebensweise von Humboldt-Pinguinen.



Nach dem ersten erfolgreichen Testlauf in Berlin wurde der Demonstrator in das OZEANEUM geliefert und dort einer Evaluierung unterzogen. Für Einzelheiten hierzu wird auf den „Anhang Evaluierung“ verwiesen.

Abbildung 14: Spieloberfläche, Pfeile zeigen die möglichen Richtungsoptionen an, die mit der Hand gesteuert werden.

Abbildung 15: Fütterung nach erfolgreichem Fang
Grafiken: Thomas Korth/
Deutsches Meeresmuseum

Abbildung 16: Anlieferung des Gestensteuerungsdemonstrators am OZEANEUM, Foto: Anke Neumeister/Deutsches Meeresmuseum

Abbildung 17: Gestensteuerungsdemonstrator in der Ausstellung des OZEANEUMs, Foto: Anke Neumeister/Deutsches Meeresmuseum



VII. Literaturverzeichnis

Advanced Realtime Tracking GmbH & Co (2022): Startseite ART. Online verfügbar unter <https://ar-tracking.com/en>, zuletzt aktualisiert am 23.03.2022, zuletzt geprüft am 23.03.2022.

ams-osram (2022): Our Business - ams-osram - ams. Online verfügbar unter <https://ams-osram.com/our-business>, zuletzt aktualisiert am 06.04.2022, zuletzt geprüft am 06.04.2022.

Bamji, Cyrus S.; Mehta, Swati; Thompson, Barry; Elkhatib, Tamer; Wurster, Stefan; Akkaya, Onur et al. (2018): 1Mpixel 65nm BSI 320MHz demodulated TOF Image sensor with 3µm global shutter pixels and analog binning. In: Laura C. Fujino (Hg.): 2018 IEEE International Solid-State Circuits Conference. Digest of technical papers. 2018 IEEE International Solid-State Circuits Conference (ISSCC). San Francisco, CA, 2/11/2018 - 2/15/2018. Institute of Electrical and Electronics Engineers; IEEE Solid-State Circuits Society. 1st edition. Piscataway, NJ: IEEE, S. 94–96.

Berman, Sigal; Stern, Helman (2012): Sensors for Gesture Recognition Systems. In: IEEE Trans. Syst., Man, Cybern. C 42 (3), S. 277–290. DOI: 10.1109/TSMCC.2011.2161077.

BTS Bioengineering (2022): Home | BTS Bioengineering. Online verfügbar unter <https://www.btsbioengineering.com/>, zuletzt aktualisiert am 14.03.2022, zuletzt geprüft am 23.03.2022.

Conrad, Holger; Schenk, Harald; Kaiser, Bert; Langa, Sergiu; Gaudet, Matthieu; Schimmanz, Klaus et al. (2015): A small-gap electrostatic micro-actuator for large deflections. In: Nature communications 6, S. 10078. DOI: 10.1038/ncomms10078.

Elliptic Labs (2022): Technology, zuletzt aktualisiert am 05.05.2022, zuletzt geprüft am 05.05.2022.

Futurium (2022): Homepage Futurium. Hg. v. Futurium gGmbH. Online verfügbar unter <https://futurium.de/>, zuletzt aktualisiert am 29.06.2022, zuletzt geprüft am 29.06.2022.

Gesture Recognition Market Size & Share Report, 2030 (2022): Online verfügbar unter <https://www.grandviewresearch.com/industry-analysis/gesture-recognition-market>, zuletzt aktualisiert am 29.11.2022, zuletzt geprüft am 29.11.2022.

Google (2022): Soli Homepage. Online verfügbar unter <https://atap.google.com/soli/>, zuletzt aktualisiert am 28.04.2022, zuletzt geprüft am 02.05.2022.

Gupta, Sidhant; Morris, Daniel; Patel, Shwetak; Tan, Desney (2012): Sound-Wave. In: Joseph A. Konstan (Hg.): Proceedings of the SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems. CHI ,12: CHI Conference on Human Factors in Computing Systems. Austin Texas USA, 05 05 2012 10 05 2012. Association for Computing Machinery. New York, NY: ACM (ACM Conferences), S. 1911–1914.

Hayashi, Eiji; Lien, Jaime; Gillian, Nicholas; Giusti, Leonardo; Weber, Dave; Yamanaka, Jin et al. (2021): RadarNet: Efficient Gesture Recognition Technique Utilizing a Miniature Radar Sensor. In: Yoshifumi Kitamura (Hg.): Proceedings of the 2021 CHI Conference on Human Factors in Computing Systems. CHI ,21: CHI Conference on Human Factors in Computing Systems. Yokohama Japan, 08 05 2021 13 05 2021. ACM Special Interest Group on Computer-Human Interaction. New York, NY, United States: Association for Computing Machinery (ACM Digital Library), S. 1–14.

Intel® RealSense™ Depth and Tracking Cameras (2021): Intel® RealSense™ Computer Vision Solutions. Online verfügbar unter <https://www.intelrealsense.com/>, zuletzt aktualisiert am 30.11.2021, zuletzt geprüft am 06.04.2022.

Katoch, P. C. (2022): LiDAR Satellites. Online verfügbar unter <https://www.sps-aviation.com/experts-speak/?id=527>, zuletzt aktualisiert am 03.05.2022, zuletzt geprüft am 03.05.2022.

LeddarTech (2022): LeddarTech - Sensing and Perception Solutions for ADAS/AD. Online verfügbar unter <https://leddartech.com/>, zuletzt aktualisiert am 29.04.2022, zuletzt geprüft am 02.05.2022.

Meta (2022): Oculus Quest 2. Online verfügbar unter https://store.facebook.com/de/de/quest/products/quest-2/?utm_source=www.google.de&utm_medium=oculusredirect, zuletzt aktualisiert am 29.06.2022, zuletzt geprüft am 29.06.2022.

Microsoft Research (2021): SoundWave: Using the Doppler Effect to Sense Gestures - Microsoft Research. Online verfügbar unter <https://www.microsoft.com/en-us/research/project/soundwave-using-the-doppler-effect-to-sense-gestures/>, zuletzt aktualisiert am 09.05.2021, zuletzt geprüft am 05.05.2022.

Microsoft Store (2022): Azure Kinect DK – Entwicklerkit kaufen | Microsoft Store. Online verfügbar unter <https://www.microsoft.com/de-de/d/azure-kinect-dk/8pp5vxmd9nhq?activetab=pivot%3aoverviewtab>, zuletzt aktualisiert am 04.05.2022, zuletzt geprüft am 04.05.2022.

Modus (2022): LiDAR Systems. Online verfügbar unter <https://www.modus-ai.com/lidar-systems/>, zuletzt aktualisiert am 21.02.2022, zuletzt geprüft am 02.05.2022.

NaturalPoint, Inc. (2023): Optitrack Startseite. Online verfügbar unter <https://www.optitrack.com/>.

Putz, Veronika; Mayer, Julia; Fenzi, Harald; Schmidt, Richard; Pichler-Scheder, Markus; Kastl, Christian (2020): Cyber-Physical Mobile Arm Gesture Recognition using Ultrasound and Motion Data. In: 2020 IEEE Conference on Industrial Cyberphysical Systems (ICPS). Proceedings : online conference, Tampere, Finland, 10-12 June, 2020. 2020 IEEE Conference on Industrial Cyberphysical Systems (ICPS). Tampere, Finland, 6/10/2020 - 6/12/2020. Tampereen yliopisto; Institute of Electrical and Electronics Engineers; IEEE Industrial Electronics Society; IEEE Technology and Engineering Management Society; Systems Council. Piscataway, NJ: IEEE, S. 203–208.

Rautaray, Siddharth S.; Agrawal, Anupam (2015): Vision based hand gesture recognition for human computer interaction: a survey. In: Artif Intell Rev 43 (1), S. 1–54. DOI: 10.1007/s10462-012-9356-9.

Schoeneck, Jacob (2022): Technology CMUT - Capacitive Micromachined Ultrasound Transducers: A Primer. Hg. v. American College of Emergency Physicians. Online verfügbar unter <https://www.acep.org/emultrasound/newsroom/jun2020/technology-cmut-capacitive-micromachined-ultrasound-transducers-a-primer/>, zuletzt aktualisiert am 23.05.2022, zuletzt geprüft am 23.05.2022.

Ultraleap (2023): Homepage Ultraleap. Online verfügbar unter <https://www.ultraleap.com/>, zuletzt geprüft am 29.06.2023.

Vicon (2022): Vicon | Award Winning Motion Capture Systems. Online verfügbar unter <https://www.vicon.com/>, zuletzt aktualisiert am 17.03.2022, zuletzt geprüft am 29.06.2023.

Wikipedia (2022): Kinect. Hg. v. Wikipedia. Online verfügbar unter <https://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Kinect&oldid=222161312>, zuletzt aktualisiert am 18.04.2022, zuletzt geprüft am 04.05.2022.

Xsens (2022): Motion Capture. Online verfügbar unter <https://www.xsens.com/motion-capture>, zuletzt aktualisiert am 01.01.2023, zuletzt geprüft am 29.06.2023.