

HOCHSCHULE RHEINMAIN



GERÄTEKONSTRUKTION B

---

## **Fancy Use-Case Bot**

---

Autoren

DENNIS HUNTER

DAVID ICKSTADT

CIHAN ÜNLÜ

FACHBEREICH INGENIEURWISSENSCHAFTEN

STUDIENBEREICH ANGEWANDTE PHYSIK & MEDIZINTECHNIK

Abgabedatum: 25. Februar 2022

# Inhaltsverzeichnis

<b>1 Aufgabenstellung</b>	<b>3</b>
1.1 Anforderungskatalog . . . . .	3
<b>2 Funktionsgliederung/-Struktur</b>	<b>4</b>
2.1 Funktionsbaum . . . . .	4
2.2 Morphologische Kästen . . . . .	6
2.3 Prinzipskizze . . . . .	12
<b>3 Begründung der Lösungsauswahl</b>	<b>14</b>
<b>4 Konzeption und Entwurf</b>	<b>16</b>
4.1 Gesamtbauteil . . . . .	16
4.2 Schultergelenk . . . . .	16
4.3 Ober-/Unterarm . . . . .	16
4.4 Hand . . . . .	16
4.5 Künstliche Muskeln . . . . .	16
<b>5 Dimensionierung</b>	<b>17</b>
<b>6 Störgrößenanalyse</b>	<b>18</b>
<b>Abbildungsverzeichnis</b>	<b>19</b>
<b>Tabellenverzeichnis</b>	<b>20</b>
<b>Glossar</b>	<b>21</b>
<b>A Externe Referenzen</b>	<b>22</b>
<b>B Anhang</b>	<b>23</b>

# 1 Aufgabenstellung

Zu konstruieren ist ein System, das einen Billard-/Snookerstoß nachbilden kann. Es soll die Stoßparameter der von durchschnittlichen Spielern durchgeführten Stöße möglichst exakt abbilden während die Ergonomie des menschlichen Bewegungsapparates wo nötig nachgeahmt wird. Weiter ist das System für den mobilen Einsatz an realen und beliebigen Snookertischen vorgesehen. Im Rahmen einer gewünschten Einsetzbarkeit in Gegenwart von ungeschultem Personal sind Aufhängungs- bzw. Standsicherheit, sowie ein sicherer Betrieb zu gewährleisten. Zum Transport muss das Gerät zerlegbar und in maximal drei Transportkisten von jeweils höchstens 42 L Fassungsvermögen verstaubar sein.

## 1.1 Anforderungskatalog

Aus den oben formulierten Anforderungen soll im Weiteren eine konkretisierte Auflistung der Fest- Mindest- und Wunschanforderungen erstellt werden. Darüber hinaus sollen implizite Anforderungen in verbalisierter Form aufgeführt sein.

### **Festanforderungen:**

- Einsetzbarkeit an beliebigen Tischen und Orten
- Autarke Funktion
- Einstellbarkeit der Parameter
  - Armlängen
  - Stoßwinkel
  - Stoßkraft
  - Stoßgeschwindigkeit
- Aufhäng- bzw. Standsicherheit
- Aufnahme verschiedener Queues
- Beachtung der Sicherheitsanforderungen für Bedienpersonal

### **Mindestanforderungen:**

- Impulsübertrag von Queue auf Snookerkugel von
  - Durchmessern 38 mm bis 68 mm und
  - Massen 45 g bis 204 g
- Transportierbarkeit in maximal drei Boxen mit Volumina von jeweils maximal 42 L
- Maximales Gesamtgewicht von 35 kg
- Maximale Aufbauzeit durch eine Person von 60 min

### **Wunschanforderungen:**

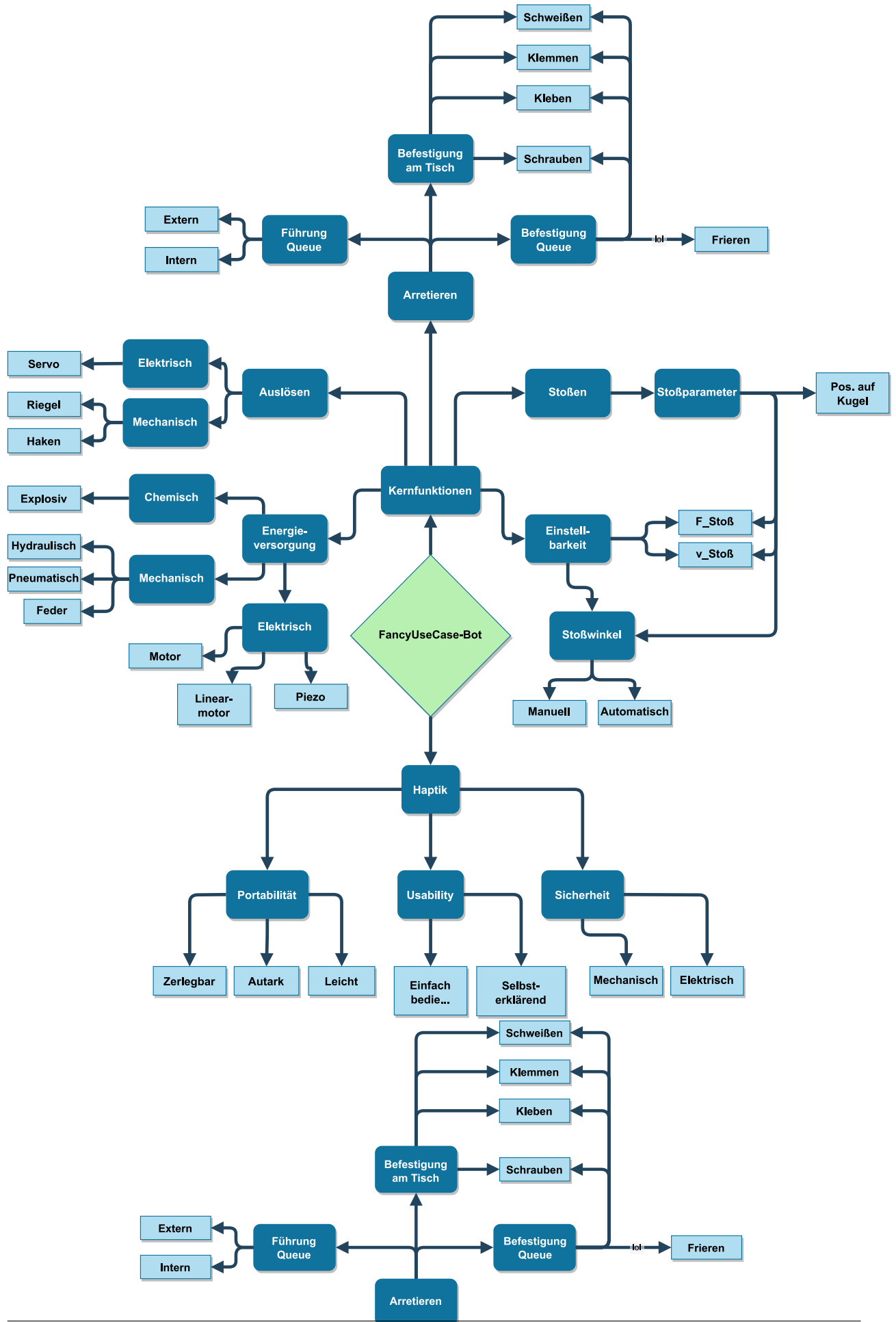
- Nachbildung der menschlichen Motorik von Schulter bis Handgelenk
- Nachbildung der Stoßparameter eines durchschnittlichen Snookerspielers

## **2 Funktionsgliederung/-Struktur**

Zur Zwecke der Reduktion des Komplexitätsgrades des Gesamtsystems wird sich für das Erstellen eines Funktionsbaumes entschieden. Hier werden die in Kapitel 1 formulierten Anforderungen in grober Form vorstrukturiert um sich einen Überblick über die Anzahl und Gestalt funktionaler Teilprobleme, sowie möglicher Lösungsansätze zu verschaffen. Hieraus können in einer frühen Konzeptionsphase bereits unpraktikable Lösungsansätze verworfen und in der textlichen Ausformulierung gegebenenfalls verborgen gebliebene Teilprobleme identifiziert werden. Im direkten Anschluss können Kernfunktionen und/oder Lösungsansätze im Rahmen morphologischer Kästen weiter diskutiert werden. Wie feingliedrig dies geschehen soll, liegt im Ermessen der Konstrukteure.

### **2.1 Funktionsbaum**

Zunächst werden die allgemeinen Funktionen in Kategorien unterteilt, um eine Übersicht zu erschaffen. Diese sind in einem Funktionsbaum (s. Abb. 2.1) zu sehen.



## 2.2 Morphologische Kästen

Zunächst wurden aus dem Funktionsbaum kritische Probleme abgeleitet und als Teilprobleme in morphologischen Kästen (s. Tabellen 2.1 bis 2.5) dargestellt. Da einige Bauteile viele Teilprobleme aufwiesen, wurden diese in eigenen morphologischen Kästen behandelt. Im Anschluss wurde zu den entsprechenden Problemen Lösungen gesucht und diese dargestellt. Die Lösungen beruhen auf dem Wissen und der Erfahrung des Konstruktionsteams. Die Lösungen wurden danach im Hinblick auf verschiedene Kriterien überprüft und die passendste Lösung gewählt. Entscheidende Kriterien dabei waren die Komplexität, die Herstellbarkeit sowie die Kosten.

**Tabelle 2.1:** Morphologischer Kasten der Teilprobleme.

Teilprobleme	Lösung 1	Lösung 2	Lösung 3
Schulter	siehe morphologischer Kasten Schulter		
Ellbogen	siehe morphologischer Kasten Ellbogen		
Handgelenk	siehe morphologischer Kasten Handgelenk		
Längen ändern Oberarm	Schraube + Langloch	Schwalbenschwanzführung & Schraube	Rundklemme
Längen ändern Unterarm	Schraube + Langloch	Schwalbenschwanzführung & Schraube	Rundklemme
Befestigung Queue	Rundklemme	Kleben	Schrauben
Energieversorgung	Elektrisch	Druckluft	
Bewegungsenergie	Druckluft (Kompressor & Puffertank)	Drucklufttank	Elektrisch
Steuerungsenergie	Elektrisch	Druckluft	

**Tabelle 2.2:** Morphologischer Kasten der Schulter.

Schulter	Lösung 1	Lösung 2	Lösung 3	Lösung 4
Schulter bewegen	Spherical Gear (löst auch Lager)	manuell	Zahnrad-Antrieb mit Endschaltern	Delta-Aktuator
Schulter an Dummy fixieren	Schraube M10x1 (Vorgegeben)			
Lager Schulter	Radial-Kugellager (2D)	Kugelkopf-halterung (Kamerastativ)	3x Kugelgelenk	Spherical Gear
Schulter-Stellung fixieren	Klemme auf Welle	Hohe Getriebe-übersetzung	elektr. Zange mit Bremsbelägen	



**Tabelle 2.3:** Morphologischer Kasten des Ellbogens.

Ellbogen	Lösung 1	Lösung 2	Lösung 3
Ellbogen bewegen	Pneumatik-Zylinder	künstl. Muskel (Silikon & Netz)	Linearmotor
Ellbogen an Oberarm fixieren	Kugellager	Schraube mit Gleitstücken	Schanier

**Tabelle 2.4:** Morphologischer Kasten des Handgelenks.

Handgelenk	Lösung 1	Lösung 2	Lösung 3	Lösung 4
Handgelenk bewegen	Spherical Gear (löst auch Fixierung)	Delta-Aktuator	manuell	frei beweglich
Handgelenk an Unterarm fixieren	Kugelkopfhalterung (Kamerastativ)	3x Kugelgelenk	Schanier	

**Tabelle 2.5:** Morphologischer Kasten des Feedback-Systems.

Feedback-System	Lösung 1	Lösung 2	Lösung 3
Sensor Schulter Endschalter	2x optischer Schalter	2x Microswitch	Über Drehwinkel- sensor
Sensor Schulter Drehwinkel	inkremental Drehgeber	absolut Drehgeber	Schleifkontakt
Sensor Ellbogen Endschalter	2x optischer Schalter	2x Microswitch	Über Drehwinkel- sensor
Ellbogen Drehwinkel	inkremental Drehgeber	absolut Drehgeber	Schleifkontakt
Beschleunigungs- aufnehmer Queue			
Druck- überwachung			

## 2.3 Prinzipskizze

Da die Funktionen nun definiert sind, kann das Prinzip des Gerätes schematisch in einer Prinzipskizze aufgezeigt werden.

Abb. 2.2 zeigt die Hauptbauteile, Abb. 2.3 den Anschluss zwischen Ober- und Unterarm und Abb. 2.4 die Hand und ihre Verbindung zum Unterarm.

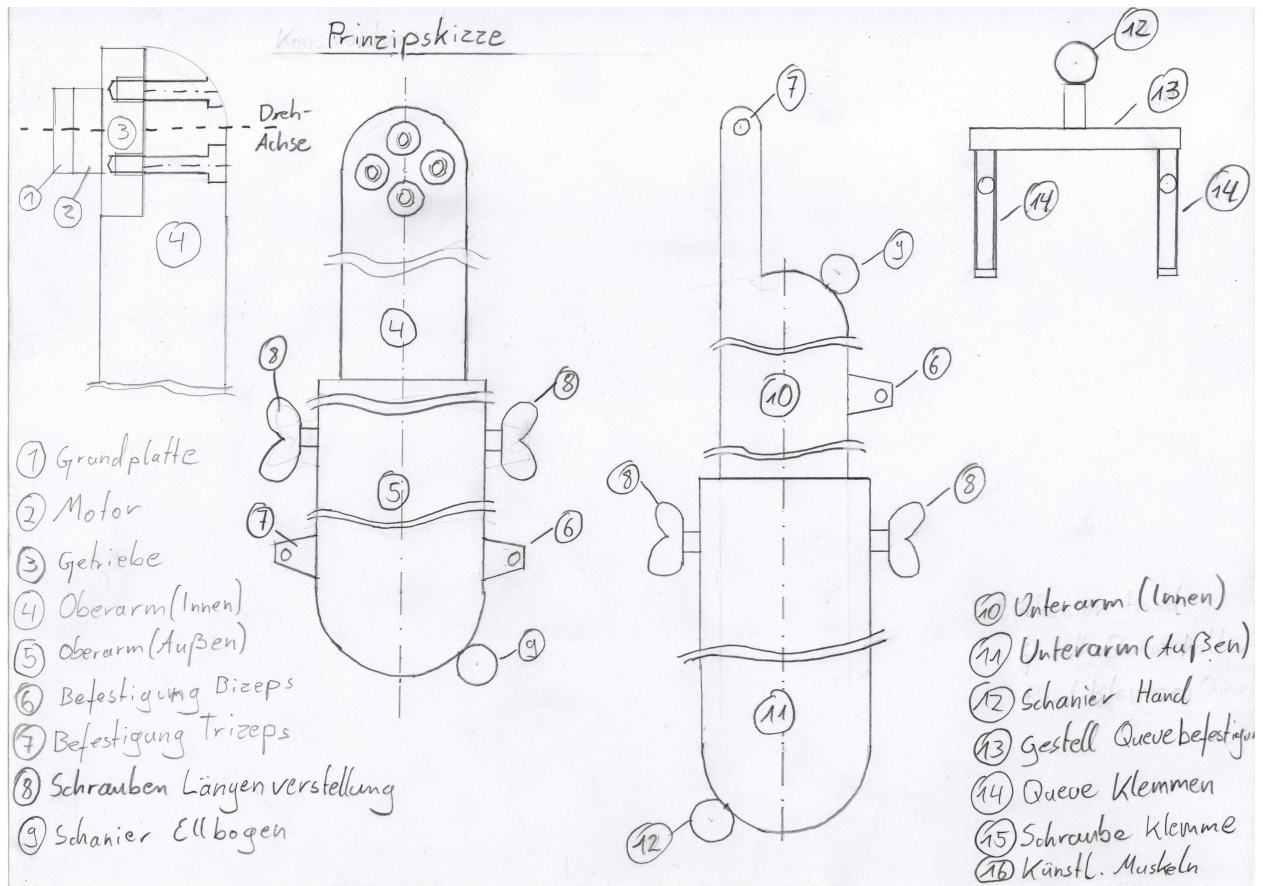


Abbildung 2.2: Prinzipskizze - Gesamtansicht.

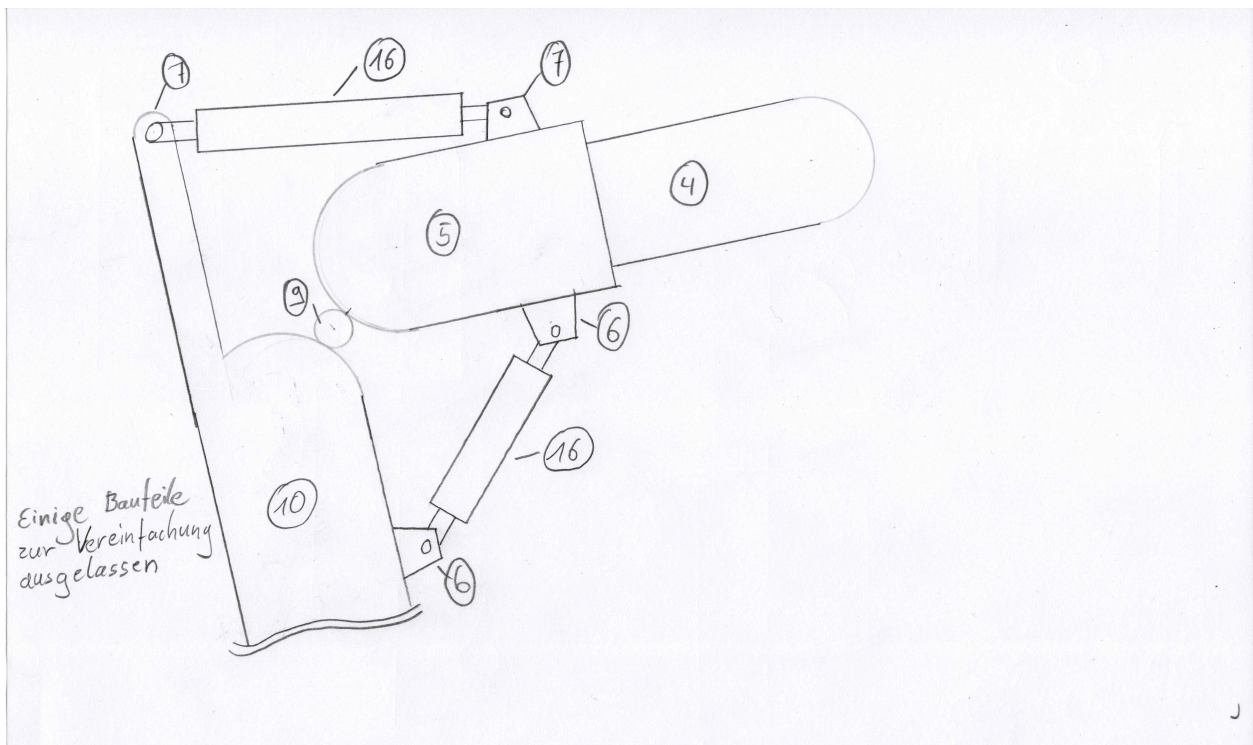


Abbildung 2.3: Prinzipskizze - Ellbogen.

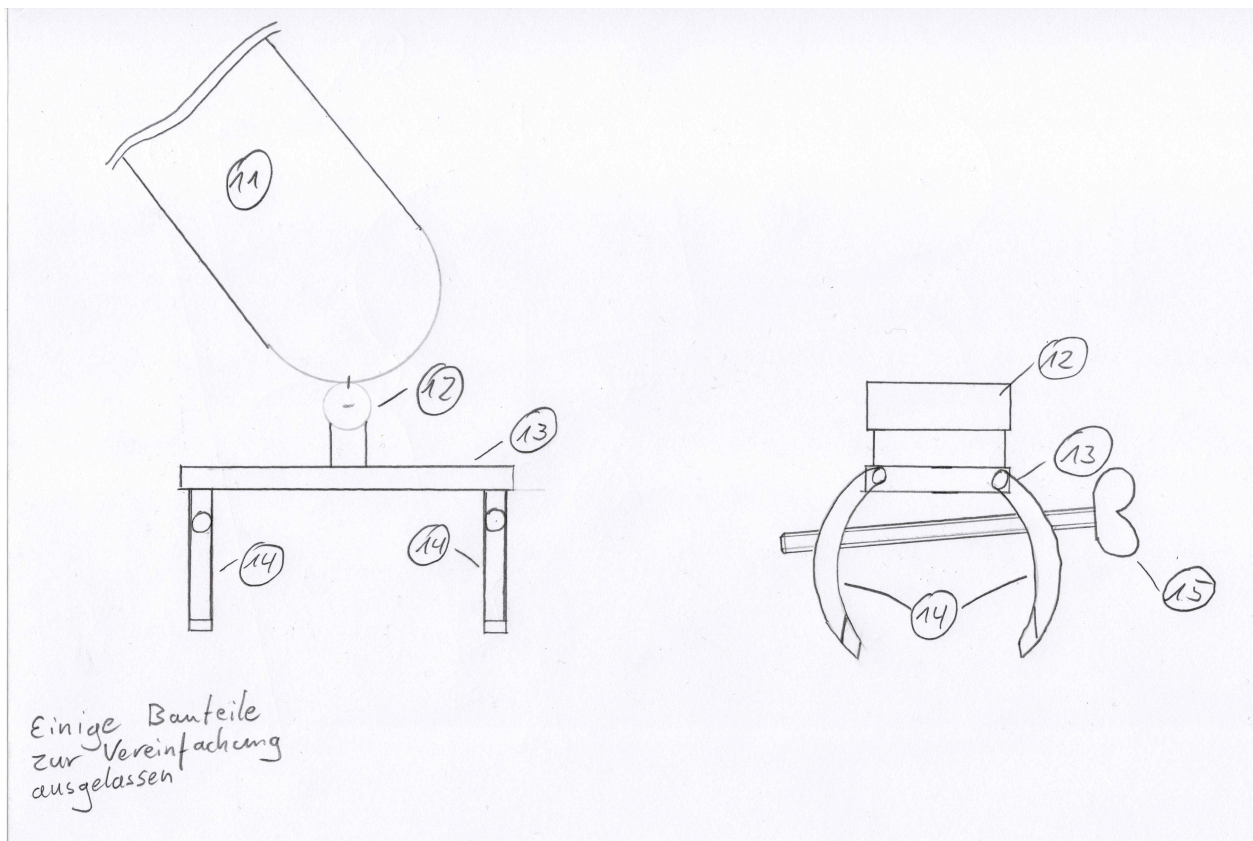


Abbildung 2.4: Prinzipskizze - Handgelenk und Hand.



### 3 Begründung der Lösungsauswahl

Nun soll erläutert und erklärt werden, wieso die jeweiligen Lösungen aus den morphologischen Kästen ausgewählt wurden.

Zunächst betrachten wir die übergeordneten Teilprobleme. Dazu zählt unter anderem die Einstellbarkeit der Armlängen. Diese sollen möglichst genau die Anatomie unterschiedlicher Menschen nachbilden. Um dies zu gewährleisten, müssen sie in der Länge verstellt werden können. Die passendste Lösung stellte dabei eine gewöhnliche Fahrradrohrklemme dar. Denn dazu muss nicht zusätzlicher Konstruktionsaufwand betrieben werden, sondern sie können zugekauft werden. Des Weiteren ist an dem Bauteil des Arms wenig Bearbeitungsaufwand. Diese bestehen aus Rohren und können einfach eingeschlitzt werden, um die Verklemmung der Fahrradklemmen auf das innen liegende Rohr zu übertragen. Die Auswahl für die Anpassungsmöglichkeit der Längen ist beim Oberarm und Unterarm identisch.

Der nächste wichtige Punkt stellt die Befestigung des Queues dar. Dabei muss die Bewegung des Arms auf den Queue übertragen werden. Allerdings darf er sich nicht drehen, da es zu einer ungewollten Bewegung der Kugel führen könnte. Um dies zu gewährleisten, wurde eine Rundklemme gewählt. Sie umschließt den Queue am Griff und ist auch käuflich zu erwerben. Des Weiteren ist sie, anders als die anderen Möglichkeiten, nicht destruktiv.

Die Energieversorgung des gesamten Aufbaus erfolgt mittels elektrischer Energie. Diese ist am einfachsten in andere Energien umzuwandeln und eigentlich überall verfügbar.

Die Bewegungsenergie bzw. die Energie, die für den Stoß verwendet wird, wird über Druckluft bereitgestellt. Dabei wird sie mit einem mobilen Kompressor erzeugt und in einem Pufferspeicher zwischengespeichert. Sobald der Stoß ausgeführt werden soll, kann die gespeicherte Druckluft kontrolliert abgelassen werden. Bei der Lösung mit nur einem Drucklufttank ist der Nachteil, dass nur so lange Stöße ausgeführt werden können, solange genug Druckluft vorhanden ist. Ist der Tank einmal leer, muss er über einen Druckluftkompressor, die in Billardhallen üblicherweise nicht vorhanden sind, aufgefüllt werden.

Die Steuerungsenergie wird ebenfalls als elektrische Energie bereitgestellt, da damit die Möglichkeit der Ansteuerung von Motoren, sowie das Feedback von Sensoren ermöglicht wird. Eine Steuerung über Pneumatik wäre ebenfalls möglich, allerdings bietet sie nicht die oben genannten Vorteile. (Vgl. Tabelle 2.1)

Wie weiter oben schon erwähnt, wurden einige Bereiche in eigenen morphologischen Kästen aufgearbeitet. Darunter die Schulter, der Ellbogen und das Handgelenk. Diese werden im Folgenden vorgestellt.

Das erste Teilproblem der Schulter stellte die Befestigung dieser und damit der gesamten Baugruppe an dem bereitgestellten Dummy dar. Allerdings ist der einzige Kontaktpunkt des Dummys eine Schraube mit dem Gewinde M10 x 1. Diese Lösung ist also von den Gegebenheiten vorgegeben.

Um einen typischen Billardstoß nachbilden zu können, muss sich außerdem die Schulter bewegen können, da der Arm eines Billardspielers meistens einen Winkel von  $90^\circ$  gegenüber der Senkrechten bildet. Da dieser Winkel jedoch von Spieler zu Spieler unterschiedlich ist, musste die Schulter beweglich ausgeführt werden. Um die Bewegung der Schulter umzusetzen, wurde ein spherical gear gewählt, da dies neben der eigentlichen Bewegung auch die Lagerung der Schulter als auch die Fixierung, während einem Stoß sicher stellt, indem die Getriebeübersetzung entsprechend hoch gewählt wird. Da mit dieser Lösung mehrere Probleme auf einmal gelöst werden können und sie einen relativ kleinen Bauraum einnimmt, wurde diese Variante ausgewählt. Dabei wird allerdings die Bewegung der Schulter auf eine 2D-Ebene beschränkt, was aber für die Nachbildung eines Arms beim Billardspielen keinen Nachteil mit sich bringt. (Vgl. Tabelle 2.2)

Außerdem muss eine Bewegung am Ellbogen erzeugt werden, da damit die meisten Billardspieler ihren Stoß ausführen. Dabei gab es zwei Probleme zu lösen: Zum einen die Bewegung und zum anderen die

Befestigung des Unterarms am Oberarm. Zur Bewegung des Unterarms wurden künstliche Muskeln gewählt. Sie sind flexibel und bilden die menschliche Anatomie sehr genau nach. Um die Bewegung des Arms zu ermöglichen, wurde ein gewöhnliches Scharnier gewählt, da auch dies den Konstruktionsaufwand gering hält und hinzugekauft werden kann. (Vgl. Tabelle 2.3)

Als letztes Problem wird das Handgelenk betrachtet. Dieses muss sich einerseits bewegen und andererseits am Unterarm befestigt werden. Da vom Handgelenk aber bei einer Lagerung des Queues keine eigene Bewegung erforderlich ist wurde die Hand so aufgelegt, dass sie nicht maschinell bewegt werden kann. Als Fixierung und Lagerung wurde am Handgelenk ein 3D-Kugelkopf gewählt, da damit eine genauere Positionierung des Queues möglich ist. So kann er auch in einem Winkel zum Arm ausgerichtet werden und bietet mehr Flexibilität bei der Nachstellung von Stößen. (Vgl. Tabelle 2.4)

## **4 Konzeption und Entwurf**

Nun werden die zur Konstruktion konzipierten Bauteile allesamt mit CAD-Modellen und Zeichnungen präsentiert und kommentiert.

### **4.1 Gesamtbauteil**

### **4.2 Schultergelenk**

### **4.3 Ober-/Unterarm**

### **4.4 Hand**

### **4.5 Künstliche Muskeln**



## 5 Dimensionierung

$$M = b \cdot F = I \cdot \alpha \quad (5.1)$$

mit dem Trägheitsmoment  $I = m \cdot s_m^2$ , der Tangentialbeschleunigung  $a_T = \frac{v^2}{\Delta x}$  und der Winkelbeschleunigung  $\alpha = \frac{a_T}{B}$

$$\begin{aligned} I \cdot \frac{a_T}{B} &= m \cdot s_m^2 \cdot \frac{a_T}{B} \\ b \cdot F &= m \cdot s_m^2 \cdot \frac{a_T}{B} \\ F_x &= \frac{m \cdot s_m^2 \cdot a_T}{B \cdot b \cdot \cos(\beta)} \end{aligned}$$

hier sind

$m$  := Masse Unterarm

$s_m$  := Massenschwerpunkt entlang  $B$

$v$  := Soll-Endgeschwindigkeit

$\Delta x$  := Ausholstrecke vor dem Stoß

$B$  := Strecke Drehachse - Ende des Unterarms

$b$  := Strecke Drehachse - Angriffspunkt PAM

$\beta$  := Winkel PAM Oberarm

$F$  := Erforderliche Kraft des PAM

## **6 Störgrößenanalyse**

# Abbildungsverzeichnis

2.1	Funktionsbaum . . . . .	5
2.2	Prinzipskizze - Gesamtansicht . . . . .	12
2.3	Prinzipskizze - Ellbogen . . . . .	13
2.4	Prinzipskizze - Handgelenk und Hand . . . . .	13

## Tabellenverzeichnis

2.1	Morphologischer Kasten der Teilprobleme . . . . .	7
2.2	Morphologischer Kasten der Schulter . . . . .	8
2.3	Morphologischer Kasten des Ellbogens . . . . .	9
2.4	Morphologischer Kasten des Handgelenks . . . . .	10
2.5	Morphologischer Kasten des Feedback-Systems . . . . .	11

# Glossar

$C$  Kapazität  
 $R$  Widerstand

$f$  Frequenz  
 $v, v_{dB}$  Verstärkung

$\varphi$  Phasenverschiebung  
 $\tau$  Zeitkonstante

## **A Externe Referenzen**

## **B Anhang**