

Interner Bericht

DLR-IB-FT-BS-2023-203

**Konstruktion einer
Armunterstützung für Versuche
zur Überlagerung virtueller und
realer
Bewegungswahrnehmungen**

Hochschulschrift

Jöran Palm

Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt

Institut für Flugsystemtechnik
Braunschweig



DLR

Deutsches Zentrum
für Luft- und Raumfahrt

Institutsbericht
DLR-IB-FT-BS-2023-203

Konstruktion einer Armunterstützung für Versuche zur Überlagerung virtueller und realer Bewegungswahrnehmungen

Jöran Palm

Institut für Flugsystemtechnik
Braunschweig

115	Seiten
69	Abbildungen
13	Tabellen
54	Referenzen

Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt e.V.
Institut für Flugsystemtechnik
Abteilung Flugdynamik und Simulation

Stufe der Zugänglichkeit: I, Allgemein zugänglich: Der Interne Bericht wird elektronisch ohne Einschränkungen in ELIB abgelegt.

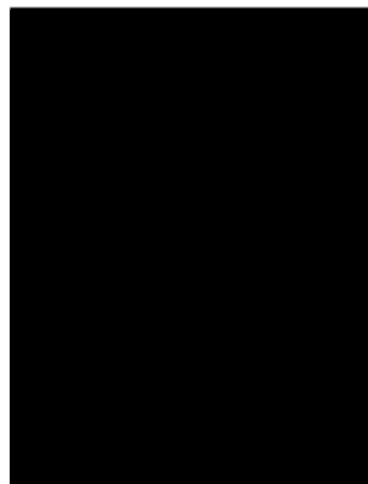
Braunschweig, den 02.10.2023

Institutsleitung: Prof. Dr.-Ing. S. Levedag

Abteilungsleitung: Dr.-Ing. H. Duda

Betreuer:in: Dipl.-Ing. C. Seehof

Verfasser:in: M.Sc. J. Palm





FAKULTÄT FÜR
MASCHINENBAU

Otto-von-Guericke-Universität Magdeburg

Fakultät für Maschinenbau

Masterarbeit Maschinenbau

Von

Jöran Palm

Matrikelnummer: 219554

Konstruktion einer Armunterstützung für Versuche zur Überlagerung virtueller und realer Bewegungswahrnehmungen

Betreuer:

Dr. Ing. L. Bobach, Otto-von-Guericke-Universität Magdeburg, IMK

Gutachter:

apl. Prof. Dr.-Ing. habil. D. Bartel, Otto-von-Guericke-Universität Magdeburg, IMK

C. Seehof, Deutsche Luft- Raumfahrt Gesellschaft Braunschweig

Oktober 2023

Kurzreferat

Im Rahmen einer Versuchsreihe am Deutschen Zentrum für Luft- und Raumfahrt wurde untersucht, wie sich die Verwendung von Virtual-Reality-Headsets in einer sich bewegenden Flugkabine auf das Wohlbefinden auswirkt. In diesem Zusammenhang wurde eine ergonomische Armlehne entwickelt, die eine individuelle Anpassung durch Höhen-, Tiefen- und Seitenverstellungen ermöglicht. Die Armlehne ist so konstruiert, dass sie sowohl von Rechts- als auch von Linkshändern verwendet werden kann und integriert den für die Steuerung in der Virtual-Reality-Umgebung erforderlichen Controller. Darüber hinaus ist sie auf die Belastungen ausgelegt, die in der Flugkabine auftreten.

Abstract

As part of a series of tests at the German Aerospace Center, the effect of using virtual reality headsets in a moving flight cabin on well-being was investigated. In this context, an ergonomic armrest was developed that allows individual adjustment through height, depth and side adjustments. The armrest is designed to be used by both right- and left-handed operators and integrates the controller required for control in the virtual reality environment. In addition, it is designed to withstand the stresses that occur in the flight cabin.

Selbstständigkeitserklärung

Hiermit erkläre ich, Jöran Palm, dass ich die vorliegende Belegarbeit selbstständig und ohne unerlaubte Hilfe angefertigt, andere als die angegebenen Quellen und Hilfsmittel nicht benutzt und die den benutzten Quellen wörtlich oder inhaltlich entnommenen Stellen als solche kenntlich gemacht habe.

Die Arbeit wurde bisher in gleicher oder ähnlicher Form keiner anderen Prüfungsbehörde vorgelegt und auch nicht veröffentlicht.

(Unterschrift)

Magdeburg, 02.10.2023

Inhaltsverzeichnis

Kurzreferat	III
Abstract	IV
Selbstständigkeitserklärung	V
Inhaltsverzeichnis	VI
Abbildungsverzeichnis	VIII
Tabellenverzeichnis	III
Abkürzungsverzeichnis	IV
1 Einleitung	1
1.1 AVES Simulator	2
1.2 Modul Passagierkabine AVES	4
2 Präzisierung der Anforderungen	5
2.1 Beschreibung der Gesamtfunktion	5
2.2 Ableitung des Gebrauchsszenarios	5
2.3 Stand der Technik	7
2.3.1 Armunterstützungen	7
2.3.2 Unterarmstütze	9
2.3.3 Armlehnen	10
2.3.4 Multifunktionsarmlehnen	11
2.4 Patentrecherche	12
2.4.1 Patent – Höhenverstellbare Armlehne	12
2.4.2 Patent – Armlehne für Bürostühle mit zusätzlicher Unterarmstütze	14
2.4.3 Patent – Vorrichtung zur Höhenverstellung von Armlehnen	15
2.4.4 Patent: – Vorrichtung zur Höhenverstellung und Arretierung von Armlehnen	16
2.5 Normen	17
2.5.1 Industrie-Arbeitsstuhl – Teil 1: Maße, Bestimmung der Maße	17
2.5.2 Industrie-Arbeitsstuhl – Teil 2: Sicherheitsanforderungen und Prüfverfahren	19
2.6 Anforderungsliste	20
3 Entwurf des Vorzugskonzepts	26
3.1 Funktionsstruktur	26
3.2 Morphologischer Kasten	28
3.3 Variantenbildung	32
3.3.1 Variante 1	36
3.3.2 Variante 2	37
3.3.3 Variante 3	39
3.4 Bewertung via Nutzwertanalyse	41
3.5 Durchführung einer Iterationsschleife zur Verbesserung des Vorzugsvariante	45
3.6 Finales Lösungskonzept	47

4	Umsetzung des ausgewählten Lösungskonzepts	49
4.1	Versuche für Konstruktionsentscheidungen.....	49
4.1.1	Kopffreiheit mit VR-Brille	49
4.1.2	Druckkraft für Verstellungsknopf untersuchen	50
4.1.3	Beinfreiheit	51
4.2	Auslegungsberechnungen.....	52
4.2.1	Berechnung der Keilverbindung.....	52
4.2.2	Auslegung der Federn	53
4.3	Modellierung des ausgewählten Konzepts in CAD	54
4.3.1	Nomenklatur des CAD-Modells.....	54
4.3.2	Simulatorkabine	56
4.3.3	Horizontaler Verstellmechanismus	57
4.3.4	Vertikaler Verstellmechanismus.....	66
4.3.5	Bodenplatte	69
4.3.6	Verbindung Airlineschiene	70
4.3.7	Polster	70
4.3.8	Controller Halterung.....	70
4.4	Zusammenbau Armlehne	71
4.5	Durchführung einer Belastungsanalyse	72
4.5.1	Einfügen und Vernetzen des CAD-Modells	72
4.5.2	Festlegen Kräfte, Lagerungen und Kontakte	73
4.5.3	Ergebnisse der FE-Analyse	74
4.6	Modalanalyse	80
4.7	Finales CAD-Modell	80
4.8	Erstellung der Zeichnungen	82
5	Zusammenfassung, kritische Betrachtung und Ausblick	83
	Literaturverzeichnis.....	i
	Anhänge	vi

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: AVES Motionsimulator[2]	2
Abbildung 2: Flugzeug Simulationscockpit [2]	3
Abbildung 3: Passagierkabine [2].....	4
Abbildung 4: Passagierkabine außen.....	4
Abbildung 5: Gebrauchsszenario	6
Abbildung 6: Armunterstützung der Marke iFLOAT [5]	8
Abbildung 7: motorisierte Armunterstützung Armon Ayura [6]	9
Abbildung 8: Ergorest Unterarmstütze [7]	10
Abbildung 9: 4D-Multifunktionsarmlehne [8]	11
Abbildung 10: 2D-Funktionsarmlehne [9]	11
Abbildung 11: kundenspezifische Armlehne [11].....	12
Abbildung 12: Multifunktionsarmlehne [12].....	12
Abbildung 13: Querschnitt Höhenverstellmechanismus Armlehne [13].....	13
Abbildung 14: Explosionsansicht Armlehne [13].....	14
Abbildung 15: Armlehne mit Unterarmstütze [14]	15
Abbildung 16: Querschnitt des Höhenverstellmechanismus [15].....	16
Abbildung 17: Höhenraster [15]	16
Abbildung 18: Höhenverstellmechanismus [16].....	17
Abbildung 19: Bestimmung der Länge n der Armauflage [17]	18
Abbildung 20: Bestimmung des Abstandes q der Armauflage von der Vorderkante der Sitzfläche [17].....	18
Abbildung 21: Bestimmung der lichten Weite r zwischen den Armauflagen [17].....	18
Abbildung 22: Blackbox der Armlehne	26
Abbildung 23: Funktionsstruktur des Kugelantriebs	27
Abbildung 24: Variante 1.....	37
Abbildung 25: Variante 2.....	39
Abbildung 26: Variante 3.....	41

Abbildung 27: Vorzugsvariante	48
Abbildung 28: Ausgangsposition	50
Abbildung 29: Abstand zur Kabine bei Kopfbewegung nach rechts.....	50
Abbildung 30: Kraftmessgerät.....	50
Abbildung 31: Messen der Druckkraft	50
Abbildung 32: Abstand des Containers zu gering eingeschränkte Beinfreiheit	51
Abbildung 33: uneingeschränkte Beinfreiheit	51
Abbildung 34: Keilverbindung	52
Abbildung 35: Nomenklatur im Strukturbaum	55
Abbildung 36:Nomenklatur am Speicherort.....	55
Abbildung 37: Simulatorkabine	56
Abbildung 38: Horizontaler Verstellmechanismus	57
Abbildung 39: Lochadapter	58
Abbildung 40: Lochplatte	60
Abbildung 41: Adapter	61
Abbildung 42: Führung.....	62
Abbildung 43: Verschiebepatte	63
Abbildung 44: obere Platte.....	64
Abbildung 45: Verschiebblock unten	65
Abbildung 46: Verschiebblock oben	65
Abbildung 47: erste Version Verstellknopf.....	66
Abbildung 48:letzte Version Verstellknopf	66
Abbildung 49: Horizontales Vierkantrohr	67
Abbildung 50: Höhenbegrenzer	68
Abbildung 51: Vierkantrohr Vertikal.....	68
Abbildung 52: Verbindung zur Bodenplatte	69
Abbildung 53:Fußplatte.....	70
Abbildung 54: Controller Halterung	70

Abbildung 55: Armlehne.....	71
Abbildung 56: Angriffspunkt der Kraft.....	74
Abbildung 57: Verschiebung der Armlehne in mm	74
Abbildung 58: Spannung nach Mises in MPa.....	75
Abbildung 59: Spannung mit hoher Stütze	76
Abbildung 60: Verschiebung mit hoher Stütze	76
Abbildung 61: einfache Stütze	77
Abbildung 62: verbesserte Stütze	77
Abbildung 63: Kraft von Stütze weg	78
Abbildung 64: Kraft zur Stütze hin.....	78
Abbildung 65: Status der Kontaktflächen	79
Abbildung 66: Arbeitslasten der Schrauben	79
Abbildung 67: Diagramm der Eigenfrequenzen.....	80
Abbildung 68: Finales CAD-Modell	81
Abbildung 69: Armlehne in Flugkabine.....	81

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Industrie-Arbeitsstuhlmaße (Ausschnitt) [17]	19
Tabelle 2: Kräfte für die Prüfung der Festigkeit [18]	20
Tabelle 3: Morphologischer Kasten.....	29
Tabelle 4: Variantenbildung	33
Tabelle 5: Gewichtungsmatrix Hauptkriterien	42
Tabelle 6: Gewichtungsmatrix Unterkriterien Ergonomie.....	43
Tabelle 7: Werteskala für Nutzwertanalyse nach [49].....	44
Tabelle 8: Zielgrößenmatrix	44
Tabelle 9: Bewertung der veränderten Variante 1	47
Tabelle 10: Auswertung der FE-Analyse für den Angriffspunkt der Stütze	76
Tabelle 11: Auswertung der FE-Analyse neue Fußplatte	77
Tabelle 12: Auswertung der FE-Analyse mit Notfallbelastung 1330 N aus verschiedenen Richtungen	78
Tabelle 13: Auswertung der FE-Analyse im Normalbetrieb 120 N aus verschiedenen Richtungen	78

Abkürzungsverzeichnis

Ansys	Name einer Finiten-Elemente-Software
AVES	Air Vehicle Simulator
CAD	Computer Aided Design
DLR	Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt
LED	Leuchtdiode
MR	Mixed Reality
PE-UHMW	Polyethylen Ultrahochmolekular
LED	Leuchtdiode
VaRm	Bezeichnung der Baugruppe

1 Einleitung

Drohnen werden ein immer wichtigerer Bestandteil der Aviation. Eine intuitive Steuerung von Drohnen erfolgt häufig über den Einsatz von Mixed Reality (MR)-Brillen in Kombination mit einem Controller. Ein Nachteil bei dieser Form der Steuerung ist das körperliche Wohlbefinden während der Benutzung der MR-Brille. Es kann vorkommen, dass Symptome von Übelkeit und Schwindel auftreten. Die Wahrnehmung der Augen stimmt nicht mit der Wahrnehmung des Körpers überein. In einer Versuchsreihe sollen Testpersonen in einer Passagierkabine vom AVES bestimmte Aufgaben im Virtual Reality (VR)-Raum erfüllen. Es wird erprobt wie sich die Bewegungen der Passagierkabine auf das Wohlbefinden der Personen auswirkt.

Für die Versuchsreihe genannt „*ViRumWohl*“ wird eine geeignete Vorrichtung mit entsprechender Armauflage benötigt. Die Konstruktion wird in enger Abstimmung mit den Anwendern aus einem weiteren DLR-Institut durchgeführt.

Zu Beginn der Konstruktion wurde mit den Anwendern die Gesamtfunktion der Vorrichtung besprochen und ein Lastenheft erstellt. Parallel zu dem Prozess wurde eine Recherche durchgeführt, in der nach Literatur, Normen und Patente im Bereich von Ergonomie gesucht wurden. Der Stand der Technik und das Lastenheft dienen als Randbedingung für die Erstellung der Vorrichtung. Es wurden drei Varianten erstellt und mithilfe einer Bewertung die Vorzugsvariante ausgewählt. Durch eine methodische Schleife wurde die Variante weiter verbessert. Die finale Variante wurde in einer *Preliminary Design Review* den Anwendern vorgestellt und zur Konstruktion freigegeben.

Im bevorzugten Konzept ist eine 3D-Verstellmöglichkeit für die Armauflage enthalten. Diese Verstellmöglichkeit ermöglicht Anpassungen in Bezug auf Höhe, Tiefe und Breite und wurde mittels CAD-Modellierung erstellt. Um sicherzustellen, dass die Armlehne den geforderten Kräften und Verformungen standhalten kann, wurden diese Aspekte durch eine Finite-Elemente-Analyse (FE-Analyse) visualisiert und überprüft.

Während des Einsatzes auf der Motionplattform des AVES wird die Armlehne verschiedenen Anregungsfrequenzen ausgesetzt. Damit diese Anregungsfrequenzen nicht mit den Eigenfrequenzen der Armlehne übereinstimmen, um übermäßige Belastungen zu vermeiden. Zu diesem Zweck wurde eine Modalanalyse durchgeführt.

Schlussendlich wurden technische Zeichnungen erstellt und zur Fertigung in die Werkstatt übergeben.

1.1 AVES Simulator

Der AVES (Air VEhicle Simulator) ist eine Großanlage am Deutschen Luft- und Raumfahrtinstitut in Braunschweig. Diese Simulatorplattform ermöglicht realitätsnahe Simulationen von Flugzeugen und Hubschraubern. Die Einrichtung besteht aktuell aus zwei modularen Plattformen, und es wird gegenwärtig an der Implementierung einer zusätzlichen Plattform gearbeitet. Ein entscheidender Vorteil des AVES liegt in seiner Fähigkeit, Versuche im Bereich der ganzheitlichen Flugforschung durchzuführen. Hierbei können Personen im Simulator realitätsnah mit dem Szenario interagieren. Dies führt zu erheblichen Kosteneinsparungen, beschleunigten Abläufen aufgrund weniger aufwendiger Genehmigungsverfahren und ermöglicht häufigere Experimente [1].

Eine der Plattformen des AVES ist mit einem elektromechanischen Bewegungssystem (siehe Abbildung 1) ausgestattet, mit dem die Bewegungen und Kräfte simuliert werden können, die während eines Fluges auftreten.



Abbildung 1: AVES Motionsimulator[2]

Jede Plattform des AVES verfügt über zwei Sichtsysteme, die jeweils mit 15 LED-Projektoren ausgestattet sind und ein Sichtfeld von $240^\circ \times 95^\circ$ bieten. Das modulare Design ermöglicht den Einsatz verschiedener Module auf derselben Plattform. Derzeit sind am Standort in Braunschweig vier Module verfügbar, die über ein Kran-System in der Halle, in der der AVES aufgebaut ist, ausgetauscht werden können. Diese Module sind originalgetreue Nachbildungen von Flugzeugen. Die Cockpits der Module sind mit Nachbildungen der originalen Bedienelemente und Anzeigen ausgestattet (siehe Abbildung 2).



Abbildung 2: Flugzeug Simulationscockpit [2]

Das Soundsystem des AVEs trägt zur immersiven Erfahrung bei, indem es realistische Flug- und Systemgeräusche erzeugt. Jedes Modul besteht aus zwei Teilen: Der vordere Teil repräsentiert das nachgebaute Flugzeug, während sich der hintere Teil in einer Bedienerkabine befindet, von der aus die Simulation überwacht und gesteuert werden kann.

Das Simulationsmodell des AVEs basiert auf Matlab/Simulink und wird kontinuierlich weiterentwickelt. Der AVEs wird für verschiedene Projekte eingesetzt, darunter Pilotentrainings und das Testen von Flugzeugkonfigurationen bezüglich ihrer spezifischen Flugeigenschaften.

Die Motionplattform des AVEs ermöglicht die Bewegung der Module entlang von 6 Freiheitsgraden. Die Plattform kann sich translatorisch und rotatorisch bewegen, wobei die maximale Verschiebung $1,45\text{ m}$ beträgt und der maximale Kippwinkel 34° erreicht. Die Plattform kann eine maximale Geschwindigkeit von $1\frac{\text{m}}{\text{s}}$ erreichen und hat eine maximale Beschleunigung von $9\frac{\text{m}}{\text{s}^2}$ [Anhang 2]

1.2 Modul Passagierkabine AVES

Das Modul mit der Passagierkabine (siehe Abbildung 3 und 4) ist ähnlich wie eine Flugzeugkabine im Linienverkehr aufgebaut. In diese Kabine wird die Armlehne eingebaut.



Abbildung 3: Passagierkabine [2]



Abbildung 4: Passagierkabine außen

Die Flugkabine des AVES besteht aus zwei Sitzreihen, wobei auf jeder Seite 4 Sitzbänke Platz für insgesamt 16 Passagiere bieten. Diese Kabine ist einzigartig, da sie keine echten Fenster hat, sondern Bildschirme an den Wänden verwendet, um den Passagieren eine visuelle Umgebung zu bieten [3].

In dieser Kabine können verschiedene Versuche durchgeführt werden, die das Wohlbefinden der Fluggäste betreffen. Ein Beispiel ist die Erprobung, ob herkömmliche Fenster durch Bildschirme ersetzt werden können [3].

Für die „ViRumWohl“ Versuchsreihe werden 4 der 8 Sitzbänke entfernt, um mehr Raum für die im Versuch eingesetzten Komponenten zu schaffen.

2 Präzisierung der Anforderungen

Zur Präzisierung der Anforderungen ist zunächst die Gesamtfunktion des Produktes zu klären. Darauf aufbauend wird das Gebrauchsszenario entwickelt und anschließend der Stand der Technik recherchiert. Abschluss bildet die Erstellung der Anforderungsliste, die als Grundlage für die weitere Produktentwicklung dient.

2.1 Beschreibung der Gesamtfunktion

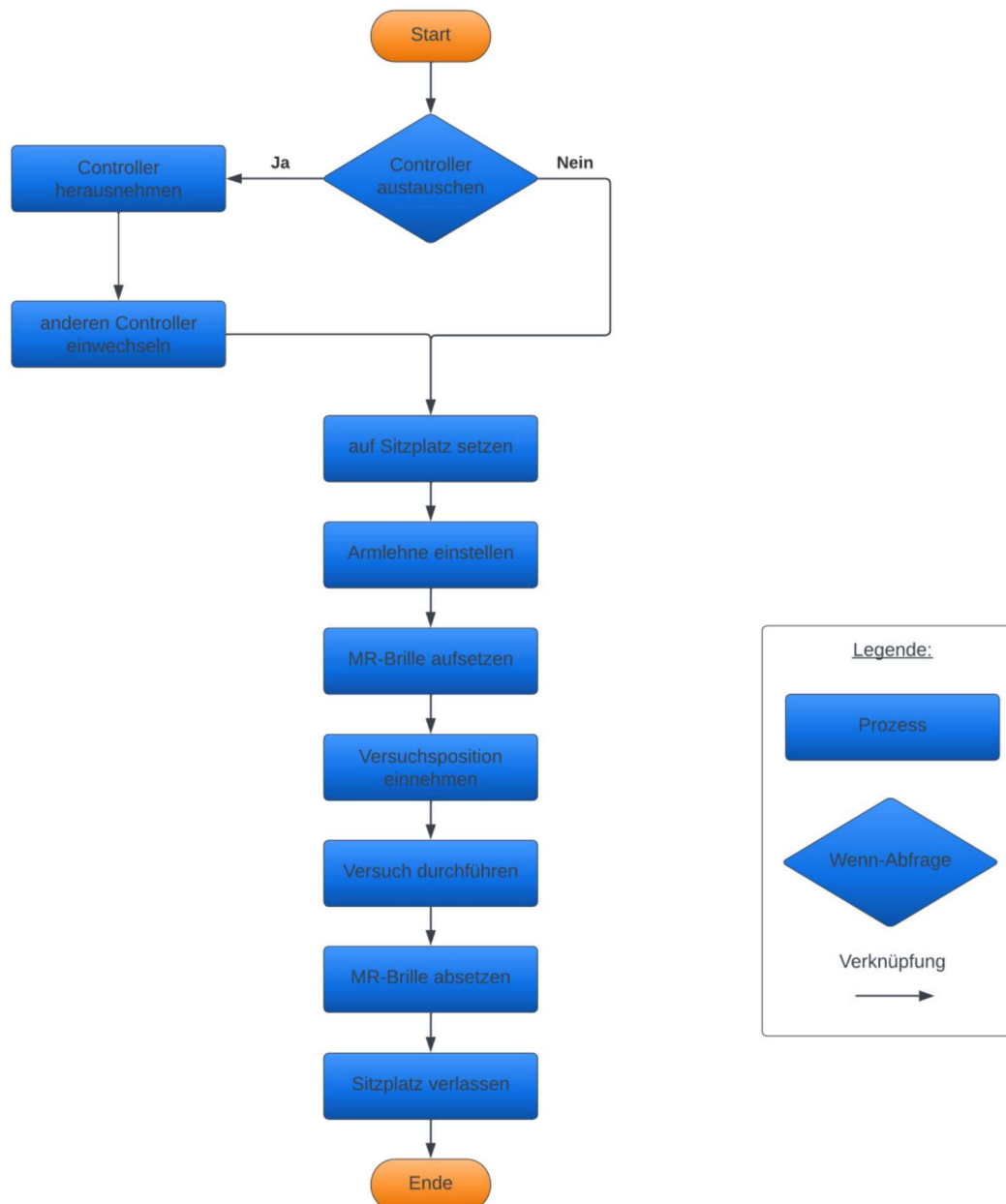
In der Versuchreihe zu „*ViRumWohl*“ sollen in einer virtuellen Umgebung Aufgaben durchgeführt werden, unter anderem die Steuerung einer Drohne. Dafür werden die Testpersonen innerhalb des AVES auf einer Sitzbank platziert. In diesem Zusammenhang ist geplant, eine Armlehne am Sitzplatz anzubringen

Die Armstütze hat im Rahmen dieser Untersuchungen mehrere Funktionen. Primär dient sie dem Benutzer als ergonomische Unterstützung und Stabilisierung des Arms. Diese ergonomische Gestaltung trägt dazu bei, den allgemeinen Komfort des Piloten zu steigern und somit zu einer Verbesserung der Versuchsergebnisse beizutragen. Durch die Bereitstellung einer stabilen Plattform für die Hand und den Controller wird eine verbesserte Kontrolle und Präzision bei der Erfüllung der Aufgaben ermöglicht.

Des Weiteren trägt die Armstütze dazu bei, die Belastungen auf den Arm des Piloten zu reduzieren und den Controller aufzunehmen.

2.2 Ableitung des Gebrauchsszenarios

Basierend auf der Gesamtfunktion lässt sich ein detailliertes Gebrauchsszenario ableiten. Dieses spiegelt eine reale Nutzung des Produkts durch einen Anwender wider. Die Darstellung des Gebrauchsszenario erfolgt in Abbildung 5 in Form eines Flussdiagramms. Mit Hilfe des Gebrauchsszenarios lassen sich im Vorfeld einer Produktentwicklung mögliche Schwächen in der Nutzung aufdecken und berücksichtigen. Diese Systemanalyse und die resultierenden Erkenntnisse sind weiterführend eine wichtige Grundlage für die Erstellung der Anforderungsliste.

**Abbildung 5: Gebrauchsszenario**

In einem typischen Gebrauchsszenario setzt sich die Testperson in die Kabine auf einen der vier Sitzplätze. Um für die Testperson eine komfortable Sitzposition zu schaffen, wird die Armstütze entweder allein oder mithilfe der anwesenden Versuchspersonals eingestellt. Nachdem die Armstütze eingestellt wurde, wird die MR-Brille von der Versuchsperson aufgesetzt und die Simulation beginnt. Ein Simulationsdurchlauf dauert etwa 30 min bis 45 min. Nach dem Abschluss des Versuches setzt die Testperson die MR-Brille ab, verlässt den Sitzplatz und die Simulator Kabine. Die Controller werden vor jedem Versuch auf die Funktionsfähigkeit kontrolliert und gegeben falls vor dem Versuch ausgetauscht

2.3 Stand der Technik

Der Stand der Technik bezieht sich auf den aktuellen Entwicklungsstand von Technologien, Produkten, Verfahren und wissenschaftlichen Erkenntnissen im Bereich von Sitzmöbeln und Armlehnen im Industriebereich. Eine gründliche Recherche zum Stand der Technik kann dabei helfen, bestehende Produkte und Technologien zu identifizieren, die als Referenz für die Konstruktion der Armstützung dienen können. Zudem können potenzielle Herausforderungen und Möglichkeiten, die bei der Entwicklung einer solchen Armstützung auftreten können, ermittelt werden.

Im Stand der Technik wird ein Überblick über die bestehende Technologie und die wissenschaftlichen Erkenntnisse gegeben, die bei der Entwicklung einer Armstützung für die Steuerung von Drohnen aus der Flugkabine von Bedeutung sein können.

2.3.1 Armunterstützungen

Armstützsysteme sind Hilfsmittel, die im Alltag von Personen mit eingeschränkter Muskelfunktion eingesetzt werden. Diese Systeme gehören zur Kategorie der medizinischen Produkte.

Die mechanischen Armstützen wurden entwickelt, um das Gewicht der oberen Extremitäten individuell auszugleichen. Dadurch kann der Arm mit weniger Kraftaufwand in horizontaler und vertikaler Richtung bewegt werden, was ein nahezu schwereloses Gefühl vermittelt. Dies erleichtert die Durchführung alltäglicher Aktivitäten wie Essen, Trinken und Arbeiten erheblich. Darüber hinaus führt die Verwendung dieser Stützsysteme zu einer Entlastung von Rücken, Nacken und Schultern.

Ein Beispiel für eine solche Armstütze ist die „Armon Edero“ Unterarmstütze, die das Gewicht eines Arms im Bereich von 900 g bis 4800 g ausgleicht. Diese Armstützsysteme sind stufenlos verstellbar und können an Tischen, Rollstühlen oder Bodenstationen befestigt werden. Sie sind mit ergonomisch geformten Armschalen und Ellbogenstützen ausgestattet [4].

Durch diese technologischen Hilfsmittel wird die Lebensqualität von Menschen mit eingeschränkter Muskelfunktion erheblich verbessert und ihre Unabhängigkeit in den alltäglichen Aktivitäten gefördert.



Abbildung 6: Armunterstützung der Marke iFLOAT [5]

Medizinische Armunterstützungen sind in motorisierten Varianten erhältlich, die die Auf- und Abwärtsbewegung des Arms mithilfe eines elektrischen Motors unterstützen können.

Der Aufbau dieser unterschiedlichen Armstützsysteme sind ähnlich und wird beispielhaft am Produkt "Armon Ayura" (siehe Abbildung 3) erläutert. Diese Systeme bestehen aus einer Armauflage (1), die den Arm vollständig umschließt, um ein unabsichtliches Abrutschen des Arms zu verhindern. Die Armauflage ist mit dem oberen Arm (2) verbunden, der wiederum über den unteren Arm (3) mit der Basis (4) verknüpft ist. In den Bauteilen sind mehrere Lagerungen eingefügt, damit die Armauflage die Bewegungsfreiheit des Arms nicht einschränkt wird. In der Basis ist ein elektrischer Motor integriert, der zusätzliche Unterstützung für den Arm bietet. Unter der Basis befindet sich das Untergestell (5), an dem die Armstützung beispielsweise mithilfe der Rollstuhlverbindung (6) an einem Rollstuhl befestigt werden kann [6].



Abbildung 7: motorisierte Armunterstützung Armon Ayura [6]

2.3.2 Unterarmstütze

Unterarmstützen finden im Büroalltag Anwendung, um Schmerzen oder Beschwerden, die durch eine ungesunde Arbeitshaltung verursacht werden, zu reduzieren. Langes Sitzen am Schreibtisch kann zu Verspannungen und Schmerzen im Schulter- und Nackenbereich führen, die mithilfe einer Unterarmstütze gemildert werden können.

Eine typische Unterarmstütze (siehe Abbildung 8) besteht aus einer Armauflage, einem Gelenkarm und einer Befestigungsvorrichtung für die Tischplatte. Je nach Modell kann die Armauflage über den Gelenkarm stufenlos eingestellt werden. In anderen Varianten kann die Höhe der Unterarmstütze über eine Tischstange in einem größeren Bereich angepasst werden oder sie verfügt über eine integrierte Mauspad-Funktion [7].



Abbildung 8: Ergorest Unterarmstütze [7]

2.3.3 Armlehnen

Armlehnen kommen in verschiedenen Bereichen wie Flugzeugen, Autos und Büros in vielfältigen Ausführungen zum Einsatz, insbesondere an Orten, an denen Komfort über längere Zeiträume wichtig ist. Sie bieten eine bequeme Unterstützung für die Arme und Hände der Benutzer während sitzender Tätigkeiten.

Moderne Bürostuhlarmlehnen sind in der Regel ergonomisch gestaltet und bieten häufig die Möglichkeit, Höhe, Breite und Neigungswinkel anzupassen, um eine natürliche und bequeme Armhaltung zu ermöglichen. Diese Armlehnen können aus verschiedenen Materialien wie Kunststoff, Aluminium oder Holz gefertigt sein, um den individuellen Bedürfnissen der Benutzer gerecht zu werden.

Die Verwendung von Armlehnen kann dazu beitragen, die Belastung der Nacken- und Schultermuskulatur zu reduzieren, indem sie eine angenehme Abstützung für die Unterarme bieten. Dies trägt zur Verringerung des Drucks auf Schultern und Nacken bei und kann dazu beitragen, Beschwerden wie Verspannungen und Schmerzen zu verhindern.

Insgesamt sind Armlehnen (siehe Abbildung 9 und 10) ein wichtiger Bestandteil eines ergonomisch gestalteten Arbeitsplatzes und können die Gesundheit und das Wohlbefinden der Mitarbeiter fördern.



Abbildung 9: 4D-Multifunktionsarmlehne [8]



Abbildung 10: 2D-Funktionsarmlehne [9]

2.3.4 Multifunktionsarmlehnen

Multifunktionsarmlehnen finden in verschiedenen Industriezweigen Verwendung und sind ein integraler Bestandteil von Steuerständen in Produktions-, Montage- und Logistikbereichen. Sie sind auch in Baumaschinen und Landwirtschaftsmaschinen anzutreffen. Diese Armlehnen sind äußerst anpassbar und ergonomisch gestaltet, wodurch sie dazu beitragen, körperliche Beschwerden zu vermeiden und Arbeitsunfälle zu reduzieren.

Ein weiterer Vorteil von Multifunktionsarmlehnen besteht darin, dass sie Bedienelemente wie Joysticks integrieren können, was ihre Funktionalität erheblich steigert. Dies ermöglicht es den Bedienern, ihre Aufgaben effizienter zu erledigen. Die Verwendung von Multifunktionsarmlehnen trägt dazu bei, das Sitzen und Arbeiten über längere Zeiträume so komfortabel wie möglich zu gestalten und kann dazu beitragen, körperliche Beschwerden zu reduzieren [10].



Abbildung 11: kundenspezifische Armlehne
[11]



Abbildung 12: Multifunktionsarmlehne [12]

2.4 Patentrecherche

Die Patentrecherche hat den Zweck, Informationen über bereits existierende Produkte oder Technologien im relevanten technischen Bereich zu sammeln. Sie bietet einen umfassenden Überblick über bestehende Patente und ermöglicht es, festzustellen, ob das angestrebte Produkt oder die geplante Erfindung tatsächlich neu ist. Darüber hinaus können ähnliche Patente als Inspirationsquelle dienen, um potenzielle Lösungsansätze für das geplante Produkt zu identifizieren und zu verbessern.

2.4.1 Patent – Höhenverstellbare Armlehne

Im Patent EP 2 845 518 B1 [13] wird eine multidirektional verstellbare Armlehne für einen Bürostuhl gezeigt (siehe Abbildung 13 und 14). Mit dieser Armlehne ist es möglich die Höhe, die lichte Weite zwischen den beiden Armlehnen und die Tiefe zu verstellen. Außerdem kann die Armlehne im Uhrzeigersinn und gegen den Uhrzeigersinn rotiert werden.

Die Höheneinstellung wird über den Hebel (43) betätigt. Der Rotiert den Stab (40) und durch die Form des Stabes wird der Einrastmechanismus (30) aus den Rasten (39) gelöst und die Armlehne kann in der Höhe verstellt werden. Wird der Hebel (43) wieder gelöst drückt die Feder (32) den Einrastmechanismus (30) zurück in die Rasten (39) und die Armlehne wird festgestellt. Es ist zu beachten, dass die Höhenverstellung aufgrund des Mechanismus in diskreten Stufen erfolgt.

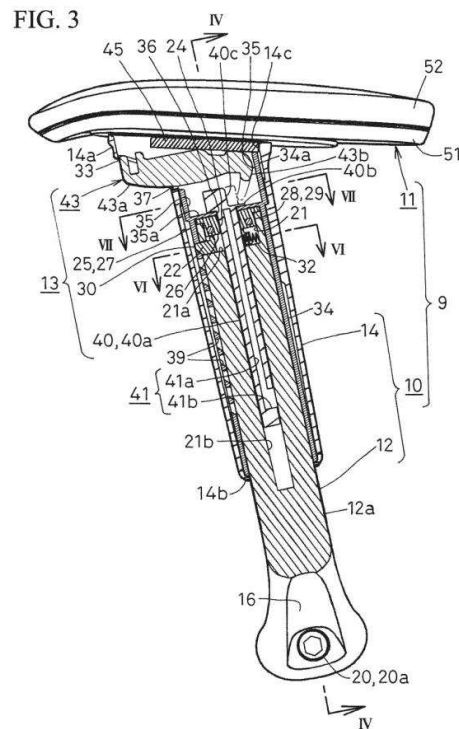


Abbildung 13: Querschnitt Höhenverstellmechanismus Armlehne [13]

Die Einstellung der Tiefe, lichten Weite und Rotation der Armlehne wird durch den oberen Teil der Armstütze (11) ermöglicht. Dabei wird ein zentrales Element (70) fest mit dem unteren Teil der Armlehne (54) verschraubt. Die weiteren Teile können sich unabhängig auf der horizontalen Ebene vom zentralen Element bewegen. Durch Rillen in den unterschiedlichen Führungen (87, 66, 67) lässt sich die Armlehne (52) in bestimmten Positionen feststellen.

Der Vorteil dieser Armlehne gegenüber vergleichbaren Produkten ist, eine große Verstellbarkeit der Höhe ohne dass Eingriffsteile vom Mechanismus zu sehen sind. Außerdem wird durch den eingesetzten Hebel ein unbeabsichtigte Höhenverstellung verhindert.

FIG. 2

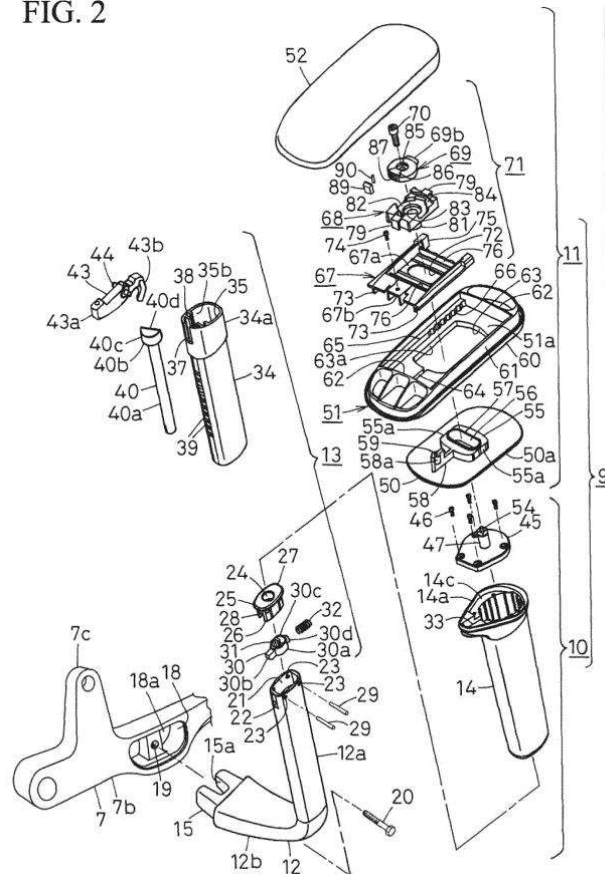


Abbildung 14: Explosionsansicht Armlehne [13]

2.4.2 Patent – Armlehne für Bürostühle mit zusätzlicher Unterarmstütze

Im Patent DE296 11 723 U1 [14] wird eine Armlehne (siehe Abbildung 15) beschrieben, die zusätzlich mit einer Unterarmstütze ausgestattet ist. Die beigefügte Unterarmstütze hat den Zweck, die Nacken- und Schultermuskulatur weiter zu entlasten. Diese Unterarmstütze ist in die Armlehne integriert und verfügt über zwei vertikale Achsen, die es ermöglichen, die Unterarmstütze zu schwenken. Die erste vertikale Achse verbindet die Unterarmstütze mit der Armlehne und gewährleistet, dass die Armlehne nicht eingeschränkt wird, wenn die Unterarmstütze nicht benutzt wird. Die zweite vertikale Achse ist mit einem Schwenkarm (16) verbunden, der zur groben Positionierung der Unterarmstützauflage (17) dient. Die Unterarmstützauflage kann durch eine weitere vertikale Achse um ihren eigenen Mittelpunkt gedreht werden. Es wird auch erwähnt, dass die Armlehne über einen Höhenverstellmechanismus verfügt, obwohl dieser im Patent nicht im Detail beschrieben ist.

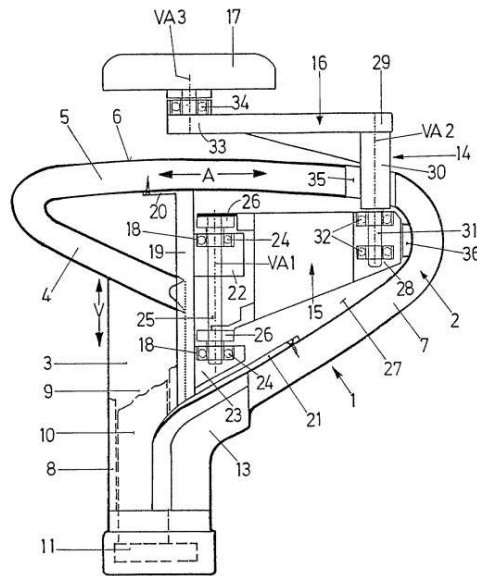


Abbildung 15: Armlehne mit Unterarmstütze [14]

2.4.3 Patent – Vorrichtung zur Höhenverstellung von Armlehnen

Im Patent WO 2014/109647 A1 [15] wird ein Mechanismus (siehe Abbildung 16) vorgestellt, der es ermöglicht, die Höhe der Armlehne anzupassen. Das Hauptziel dieses Patents ist es, einen Mechanismus zu schaffen, der mit möglichst wenigen Komponenten auskommt, einfach und robust ist und beim Verstellen ein hörbares Feedback in Form von Klickgeräuschen bietet.

Die Höheneinstellung erfolgt wie folgt:

In einer festgelegten Höhe verankert der Sperrstift (6) fest im Höhenraster (2) (siehe Abbildung 17), das aus zwei Teilen besteht, wobei ein Teil (16) beweglich ist und das andere feststehend (13). Durch das Ziehen am Verstellhebel (11) wird das innere Raster (16) nach oben bewegt und drückt den Sperrstift (6) nach außen, wodurch die Armlehne verschoben werden kann. Wenn der Hebel (11) losgelassen wird, kehrt das innere Raster durch die Feder (14) wieder in seine Ausgangsposition zurück, und der Sperrstift (6) kann einrasten.

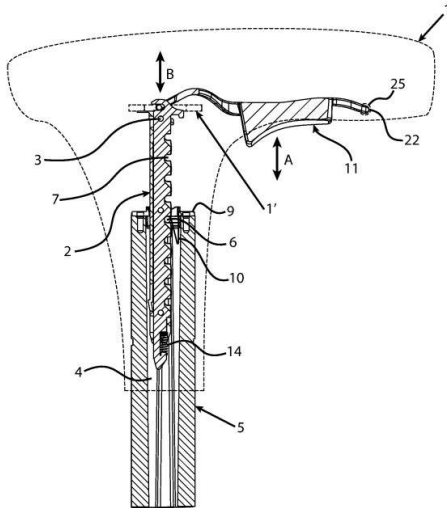


Abbildung 16: Querschnitt des Höhenverstellmechanismus [15]

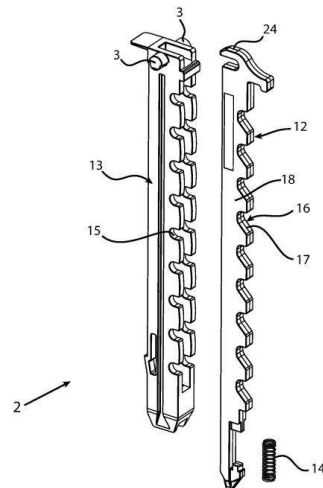


Abbildung 17: Höhenraster [15]

2.4.4 Patent: – Vorrichtung zur Höhenverstellung und Arretierung von Armlehnen

In dem Patent DE 10 2012 014 731 A1 [16] wird eine Vorrichtung (siehe Abbildung 18) beschrieben, die aus einem Schlitten besteht, auf dem eine Armlehne befestigt werden kann. Diese Vorrichtung verfügt über einen drehbaren Griff (3). Am Ende des Griffs befindet sich eine Spirale mit einem dicken und einem dünnen Ende. Durch Drehen des Griffs wird ein Spannelement (4) gegen einen Halter (1) gedrückt. Das Spannelement wird dabei entlang eines Schlittens (2) geführt. Der Halter und das Spannelement sind verzahnt, und durch den erzeugten Druck greifen die Zähne der Verzahnung ineinander, wodurch die Höhe eingestellt wird.

Des Weiteren ist in dieser Vorrichtung eine mit einer Feder gelagerte Kugel (5) vorhanden. Beim Zurückdrehen des Griffs wird das Spannelement durch diese federbelastete Kugel freigegeben, wodurch der Halter gelöst wird, und die Höheneinstellung verändert werden kann.

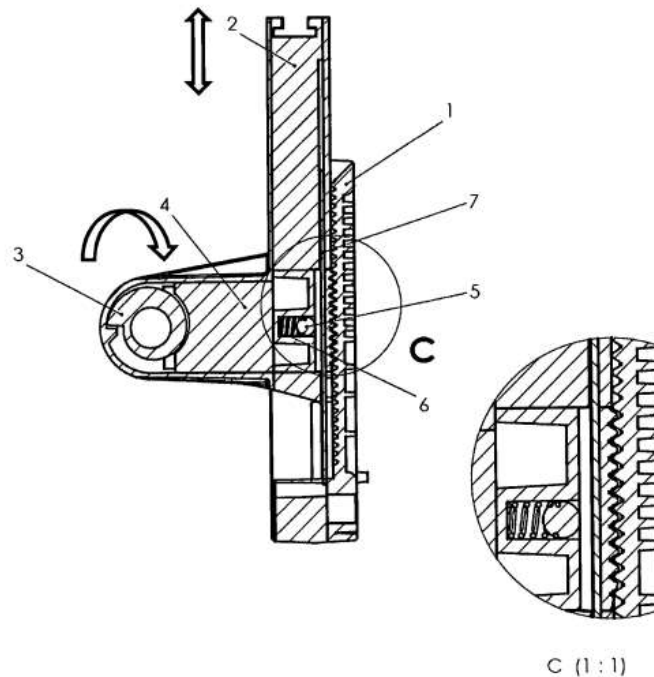


Abbildung 18: Höhenverstellungsmechanismus [16]

2.5 Normen

Normen sind Leitfäden, die die Produktentwicklung und -fertigung steuern. Sie setzen klare Anforderungen und Standards fest, um die Sicherheit und Qualität von Produkten zu gewährleisten. Die Einhaltung von Normen ermöglicht eine effizientere Produktion und steigert die Produktzuverlässigkeit. Im Folgenden werden relevante Normen für die Armstützenkonstruktion vorgestellt.

2.5.1 Industrie-Arbeitsstuhl – Teil 1: Maße, Bestimmung der Maße

Bezeichnung: DIN 68877-1:2020-11

Diese DIN-Norm [17] definiert die Anforderungen an die Abmessungen von Industriearbeitsstühlen im gewerblichen Umfeld und legt die Verfahren zur Messung dieser Abmessungen fest. Dabei werden Menschen berücksichtigt, deren Körpergröße zwischen 1510 mm und 1910 mm liegt.

Die ergonomische Gestaltung von Armlehnen erfordert besondere Aufmerksamkeit in Bezug auf die Abmessungen. Wenn die Position des Arms in Bezug auf den Körper ungünstig ist, kann dies sehr unangenehm sein und langfristig zu gesundheitlichen Problemen führen.

Die Norm enthält detaillierte Angaben zu den Maßen, angefangen von der Sitzhöhe bis zur Höhe der Armlehnen. Des Weiteren werden die Messpunkte zur Bestimmung dieser Maße in den folgenden Abbildungen illustriert.

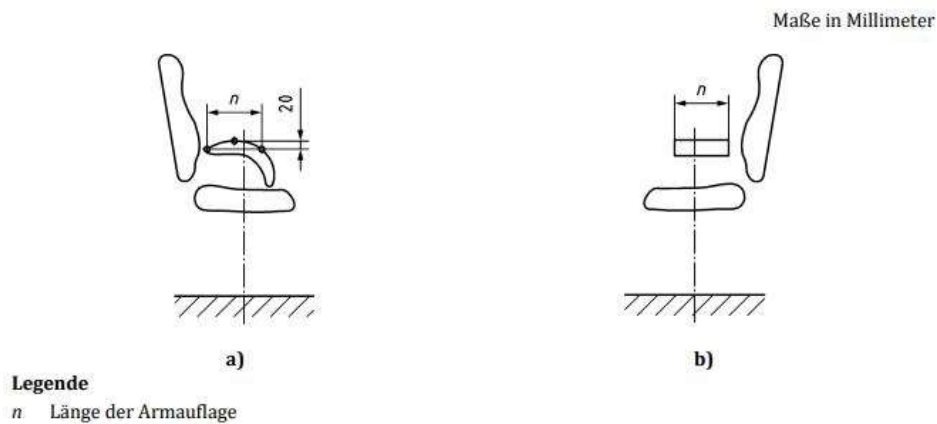


Abbildung 19: Bestimmung der Länge n der Armauflage [17]

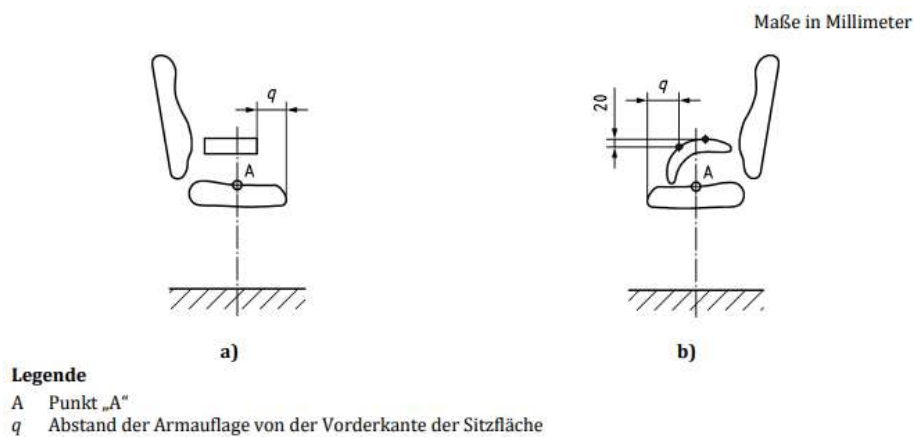


Abbildung 20: Bestimmung des Abstandes q der Armauflage von der Vorderkante der Sitzfläche [17]

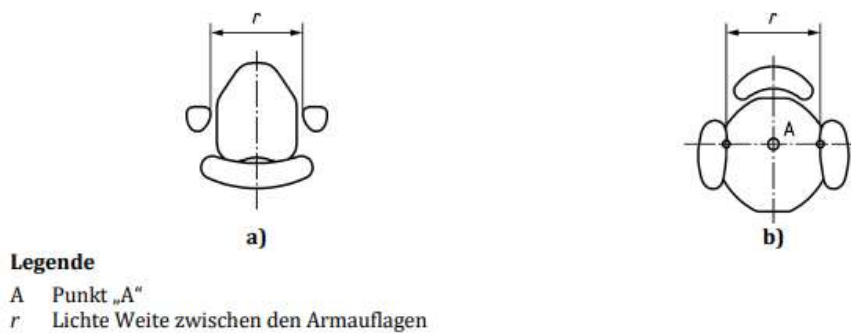


Abbildung 21: Bestimmung der lichten Weite r zwischen den Armauflagen [17]

Die nachfolgende Tabelle präsentiert die vorgeschriebenen Maßangaben, die von Industrie-Arbeitsstühlen erfüllt werden müssen.

Tabelle 1: Industrie-Arbeitsstuhlmaße (Ausschnitt) [17]

Maß	Symbol	Verstellbarkeit	(-) erlaubt	Min. ^e	Max. ^e	(+) erlaubt
ARMAUFLAGE (Modelle mit Armauflagen)						
Länge der Armauflage	<i>n</i>		nein	200	⊕	ja
Breite der Armauflage^a	<i>o</i>		nein	40	⊕	ja
Höhe der Armauflage über dem Sitz	<i>p</i>	fest	nein	200	250	nein
		verstellbar	ja	200	250	ja
Abstand der Armauflage von der Vorderkante der Sitzfläche^b	<i>q</i>		nein	100	⊕	ja
Lichte Weite zwischen den Armauflagen	<i>r</i>	fest	nein	460	510	nein
		verstellbar	ja	460	510	ja

^a Die Anforderung gilt über die Mindestlänge von *n* (siehe 7.12).

^b Die Anforderung gilt ab einer Höhe von 170 mm über Punkt „A“ (siehe 7.15).

^c Bei Verwendung von Lenkrollen ist die Anforderung 415 mm.

^d *x* ist der größte horizontale Abstand eines Teiles des Stuhloberteils von der Drehachse.

^e Für verstellbare Funktionen müssen die Mindest- und Höchstwerte erreicht werden.

⊕ Keine Festlegung getroffen.

2.5.2 Industrie-Arbeitsstuhl – Teil 2: Sicherheitsanforderungen und Prüfverfahren

Bezeichnung: DIN 68877-2:2016-05

In dieser Norm [18] werden spezifische Prüfverfahren definiert, die die Belastungsfähigkeit von Arbeitsstühlen bewerten. Die Armlehne eines Industrie-Arbeitsstuhls wird als sicher betrachtet, wenn die eine Kraft von 900 N in 10 Zyklen (siehe Tabelle 2) aufnehmen kann.

Tabelle 2: Kräfte für die Prüfung der Festigkeit [18]

Abschnitt	Schritt	Kraft-Angriffspunkt	Kraft N	Anzahl der Zyklen	Mechanik- Einstellung
Prüfungen mit statischer Belastung					
DIN EN 1728:2014-02, 7.4	Sitzvorderkante				
		F	1 300	10	verriegelt ^a Schiebesitz max.
		J	1 300	10	verriegelt ^a Schiebesitz max.
DIN EN 1728:2014-02, 7.3	Sitzfläche und Rückenlehne				
		A – B	F_1 1 600 F_2 560	5 5	verriegelt ^a entriegelt
DIN EN 1728:2014-02, 7.5	Armlehnen		750 ^b	10	
			900 ^c	10	

2.6 Anforderungsliste

Die Anforderungen eines zu entwickelnden Produktes werden in der Anforderungsliste festgehalten. Sie ist das Endergebnis der Präzisierungsphase. Ausgehend von einem Kunden wird eine spezifische Aufgabenstellung an das Unternehmen herangetragen, kommuniziert und mit Hilfe eines Entwicklungsteams für den anschließenden Entwicklungsprozess dokumentiert. Zu Beginn werden Anforderungen notiert, die für den Start des Entwicklungsprozesses notwendig sind. Die Liste selbst wird stetig aufgrund neuer Erkenntnisse aus der Entwicklung aktualisiert. Die Anforderungen werden stets angepasst und sind dynamisch [19].

Die Anforderungsliste wurde in Zusammenarbeit mit Psychologen des Instituts in Hamburg erarbeitet. Dabei war es essenziell, die Anmerkungen der Psychologen sowohl in qualitative als auch quantitative Anforderungen zu überführen.

Die Versuchsdauer beträgt von 30 bis 45 Minuten. Für die Psychologen ist es ausreichend, dass die Armlehne ausschließlich auf der rechten Seite des Sitzes positioniert werden kann. Insgesamt werden vier Versuchspersonen an den Experimenten teilnehmen, und es ist erforderlich, dass sie die Armlehne intuitiv und zügig anpassen können, um den Versuchsbeginn nicht zu verzögern.

Der Controller, der in die Armlehne integriert werden soll, entspricht dem Modell "Logitech Extreme 3D Pro" von Logitech. Die Hauptzielsetzung für die Armlehne liegt im Komfort des Probanden, der den Versuch in dieser Armlehne durchführt. Es ist von größter Bedeutung, dass die Armlehne den Probanden nicht in seiner Bewegungsfreiheit einschränkt und es ihm ermöglicht, sich auf den Versuch zu konzentrieren. Daher wird die Anforderung nach einer verstellbaren Armlehne gestellt.

Die Verstellbarkeit der Armlehne leitet sich aus den Industrie-Arbeitsstuhlnormen ab und ist von entscheidender Bedeutung für die Ergonomie und den Komfort des Probanden. Neben der Höhenverstellung sind auch die Tiefen- und Seitenverstellungen als optionale Anforderungen hinzugefügt worden. Je besser die Armlehne anpassbar ist, desto ergonomischer gestaltet sich ihre Verwendung.

Die Abmessungen der Armlehne sind sowohl durch die Simulatorkabine als auch durch die DIN-Norm für Arbeitsstühle vorgegeben. Zusätzlich muss die Armlehne den Kräften standhalten, die von der Versuchsperson ausgehen. Hierbei werden die spezifischen Kräfte, wie sie im Memorandum (Anhang 1) der Europäischen Agentur für Flugsicherheit (EASA) für bestimmte Flugzeugkomponenten definiert sind, als Referenz verwendet.

Da sich die Versuchsperson während der Experimente in einem MR-Headset befindet und sich in einem VR-Raum aufhält, kann sie ihre physische Umgebung nicht wahrnehmen. Daher ist es von großer Bedeutung, dass die Armlehne so gestaltet ist, dass sie die Versuchsperson nicht gefährdet oder verletzen kann. Die Teile der Armlehne sollten keine hervorstehenden Kanten aufweisen, an denen man sich stoßen könnte.

Die resultierende Anforderungsliste ist in Tabelle 1 aufgeführt.

Tabelle 1: Anforderungsliste

Anforderungsliste									
Dimensionierung Welle und Prüfkopf									
Nr.	Beschreibung/Name der Anforderung	Forderung/Wunsch	Bezeichnung (Variable)	Zahlenwert (mit Toleranz)			Einheit (phys.)	Änderung	Ursprung/ Erläuterung
				min.	exakt	max.			
Geometrie									
1	Länge der Armauflage	F		200			mm		aus DIN 68877-1[17]
2	Breite der Armauflage	F		40			mm		aus DIN 68877-1[17]
3	Höhe der Armauflage über dem Sitz	F		200		250	mm		aus DIN 68877-1[17]
4	Abstand der Armauflage von der Vorderkante der Sitzfläche	F		100			mm		aus DIN 68877-1[17]
5	Abstand der Armauflage zum Mittelpunkt der Sitzfläche	F		230		260	mm		aus DIN 68877-1[17]
Kräfte									
6	Armlehnen mit abwärtswirkender statischer Belastung	F				1330	N	24.08.23	Anhang 1: Tabelle 3.1. Guidance for concentrated loads
7	Seitliches Drücken der Armlehne	W				1330	N	24.08.23	Anhang 1: Tabelle 3.1. Guidance for concentrated loads
8	Seitliches Ziehen der Armlehne	W				1330	N	24.08.23	Anhang 1: Tabelle 3.1. Guidance for concentrated loads
Kinematik									
9	Beschleunigung x-Richtung	F				6,5	$\frac{m}{s^2}$		Anhang 2: Datenblatt AVES

Anforderungsliste						
Dimensionierung Welle und Prüfkopf						
Nr.	Bechreibung>Name der Anforderung	Forderung/Wunsch	Bezeichnung (Variable)	Zahlenwert (mit Toleranz) min. exakt max.	Einheit (phys.)	Änderung
10	Beschleunigung y-Richtung	F			$\frac{m}{s^2}$	Anhang 2: Datenblatt AVES
11	Beschleunigung z-Richtung	F			$\frac{m}{s^2}$	Anhang 2: Datenblatt AVES
	Gewicht					Lastenhandhabungsverordnung [20] Kein Einzelteil sollte mehr als 15 kg wiegen, sodass es jeder ohne Gefahr heben kann.
Sicherheit						
13	im Notfallszenario elastische Verformung des Materials	F				
14	kein Verletzungsrisiko	F				
15	keine unbeabsichtigte Bedienung	F				
Ergonomie						Aus Besprechung 15.05.23
16	Höhe der Armauf-lage über dem Sitz verstell-bar	F				Aus Besprechung 15.05.23
17	Abstand der Armauf-lage zum Mittelpunkt der Sitzfläche verstell-bar	F				Aus Besprechung 15.05.23

Anforderungsliste									
Dimensionierung Welle und Prüfkopf									
Nr.	Bechreibung/Name der Anforderung	Forde- rung/ Wunsch	Bezei- chung (Variable)	Zahlenwert (mit Tole- ranz)			Einheit (phys.)	Ände- rung	Ursprung/ Erläuterung
				min.	exakt	max.			
18	Tiefeneinstellbarkeit der Armauflage	W							
19	Anzahl Personen für Einstellung Armlehne	F				1	Pers.		Aus Besprechung 15.05.23
20	Einstellzeit Armlehne	F				30	sek		Aus Besprechung 15.05.23
21	Position Controller halbrechts am Sitz	F							Aus Besprechung 15.05.23
22	Austauschzeit Controller	F				3	min		Aus Besprechung 15.05.23
23	Armlehne komfortabel*	W						06.06.23	Aus Besprechung 15.05.23 Der Komfort der Armauflage wird maß- geblich durch die korrekte Positionie- rung und die Wahl des Materials be- stimmt.
24	Ausreichend Fußraum	F						04.08.23	
Gebrauch									
25	im Flugsimulator AVES	F							Aus Besprechung 15.05.23
26	Nutzungsdauer	F		30		45	min		Aus Besprechung 15.05.23
27	Halterung VR Brille	W							Aus Besprechung 15.05.23
28	Einsatz "Logitech Ex- treme 3D Pro" Control- ler integriert in Arm- lehne	F							Aus Besprechung 15.05.23
29	Kabelführung für Kabel vom Controller	W							Aus Besprechung 15.05.23

Anforderungsliste									
Dimensionierung Welle und Prüfkopf									
Nr.	Bechreibung/Name der Anforderung	Forde- rung/ Wunsch	Bezei- chung (Variable)	Zahlenwert (mit Tole- ranz)			Einheit (phys.)	Ände- rung	Ursprung/ Erläuterung
				min.	exakt	max.			
25	Möglichkeit Controller durch identischen zu wechseln	F							Aus Besprechung 15.05.23
Werkstoffe									
26	Im Kontrast zum Sitz	W							Aus Besprechung 15.05.23
27	Rostfrei	F							
28	Mit geringer Dichte	F							
Montage									
29	Verbindung von Sitz und Armlehne steckbar	W							Aus Besprechung 15.05.23
30	Verbindung der Arm- auflage steckbar	W							Aus Besprechung 02.06.2023
31	Verbindungen der Arm- auflage lösbar gestal- ten	F							Aus Besprechung 02.06.2023
Fertigung									
32	Normteile vor Ferti- gungsteile bevorzugen	F							
33	Rücksichtnahme bei der Konstruktion auf die Fertigungsmöglich- keiten der Werkstatt des DLRS	F							

3 Entwurf des Vorzugskonzepts

3.1 Funktionsstruktur

Für das allgemeine Verständnis und zur Klärung der Funktionen eines Systems ist es sinnvoll, eine Funktionsstruktur zu erstellen. Die Grundlage hierzu bildet die Black Box. Dabei werden alle wesentlichen Stoff-, Energie- und Signalflüsse auf der Input- und Outputseite angetragen. Hierdurch wird definiert, welche Eingangsgrößen gefordert sind und wie die Ausgangsgrößen charakterisiert sind. Wie der Name Black Box vermuten lässt, werden keine Angaben über den Verlauf bzw. die Umwandlung der Hauptflüsse getroffen. Somit können Anforderungen und Zielgrößen allgemein definiert werden, ohne eine genaue Systemstruktur vorzugeben.

In der Regel umfasst die Black Box den vollständigen Nutzungszyklus der Armlehne, beginnend mit dem Setzen und endend mit dem Aufstehen. In diesem speziellen Fall ist diese Darstellung jedoch suboptimal, da die Eingangs- und Ausgangsgrößen identisch sind. Daher wurde beschlossen, den Ablauf von der Ankunft des Nutzers bis zur Erreichung der Versuchssposition in der Black Box und der Funktionsstruktur darzustellen. Diese Darstellung trägt wesentlich zum besseren Verständnis des Systems bei, ohne dabei Nachteile für die weitere methodische Vorgehensweise zu generieren. Die Black Box der Armlehne ist in Abbildung 22 veranschaulicht.

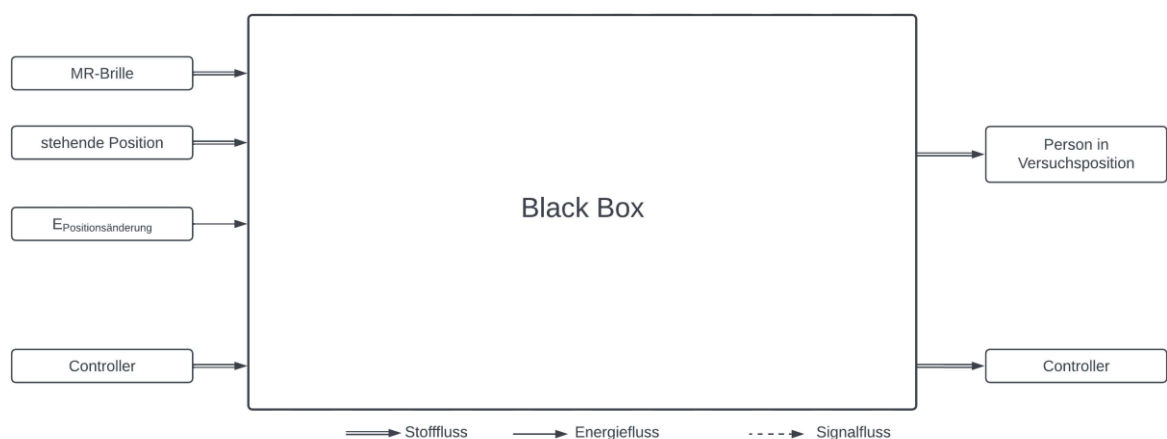


Abbildung 22: Blackbox der Armlehne

Im Kontext der Systemanalyse sind auf der Inputseite verschiedene Stoffflüsse zu identifizieren. Die Versuchsperson steht zu Beginn vor dem Sitz, was als Hauptfluss betrachtet wird. Die grundlegende Funktion der Armlehne besteht darin, eine geeignete Positionierung für die Versuchsperson zu ermöglichen. Zusätzlich werden weitere Stoffflüsse identifiziert, wie die MR-

Brille und der Controller, die im Verlauf des Versuchs eingesetzt werden. Der Energiefluss auf der Inputseite repräsentiert die erforderliche Energiemenge, um die Position der Armlehne zu verändern.

Auf der Output-Seite des Systems zeigt sich der stoffliche Fluss in Form der Versuchsperson, die sich in einer Position befindet, die es ihr ermöglicht, den Versuch durchzuführen. Die Versuchsperson nimmt auf dem Flugzeugsitz Platz und kann den rechten Arm bequem auf der Armauflage positionieren, während diese den Controller sicher hält. Ein weiterer stofflicher Fluss auf der Output-Seite stellt den Fall dar, in dem ein fehlerhafter Controller ausgetauscht werden muss.

Die Erstellung der Funktionsstruktur basiert auf dem Konzept der "Black Box". Hierbei wird festgelegt, wie die Inputs innerhalb des Systems in die geforderten Outputs umgewandelt werden. Jeder Schritt in dieser Umwandlungskette wird durch Verben beschrieben, die angeben, welche Handlungen der Nutzer ausführt, um die gewünschten Endzustände zu erreichen.

Es ist wichtig zu beachten, dass die Beschreibung der Schritte so allgemein wie möglich gehalten wird, um sicherzustellen, dass die Funktionsstruktur keine bestimmten Lösungskonzepte bevorzugt oder vorab festlegt. Dies gewährleistet, dass die späteren Ausführungsvarianten auf der Funktionsstruktur aufbauen können, ohne durch Einschränkungen in ihrer Kreativität behindert zu werden. Somit bleibt Raum für die Entwicklung und Prüfung verschiedener Lösungsansätze im späteren Verlauf des Projekts.

Für die Armlehne sieht die Funktionsstruktur wie folgt aus:

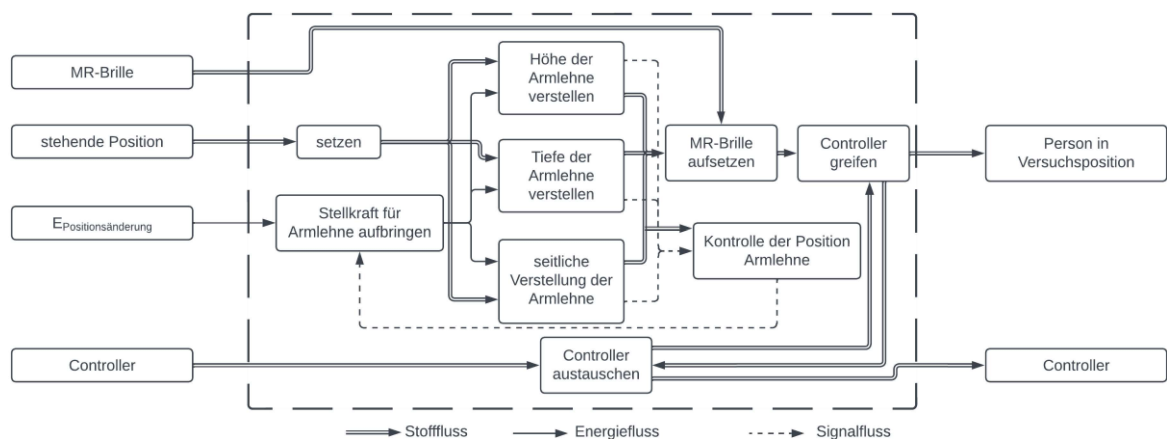


Abbildung 23: Funktionsstruktur des Kugelantriebs

3.2 Morphologischer Kasten

Die Suche nach einzelnen physikalischen Wirkprinzipien für die jeweiligen Teilfunktionen der Armlehne wurde mit Hilfe eines Ordnungsschemas vorgenommen, um ein hohes Maß an Gestaltungsvariation und Ideen für die Konzepte zu gewährleisten.

Eine systematische, geordnete Darstellung von Informationen regt zum Suchen nach weiteren Lösungen an. Sie lässt wesentliche Lösungsmerkmale erkennen, die wiederum Anregung zur Vervollständigung sein können und ergibt einen Überblick denkbarer Möglichkeiten und Verknüpfungen. Die ordnenden Gesichtspunkte für die Zeilen sind die Teilfunktionen, die aus der Funktionsstruktur abgeleitet wurden und die es zu realisieren gilt. Die Spalten beinhalten physikalische Wirkprinzipien. Zusammengefügt erfüllen die Schnittfelder, welche die Lösung der einzelnen Teilfunktionen beinhalten, jeweils die Gesamtfunktion. Das Schema ist auch als morphologischer Kasten bekannt und in Tabelle 3 dargestellt.

Um die Einstellung der Höhe, Tiefe und des seitlichen Abstands zu ermöglichen, erfordert die Armlehne die Integration von Teilfunktionen zur Höhen-, Seiten- und Tiefenverstellung. Die Kontrolle der Position der Armlehne liegt in der Verantwortung des Benutzers selbst und erfordert daher keine dedizierte Teilfunktion zur automatischen Anpassung.

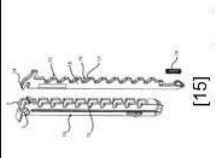
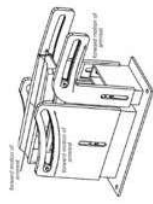
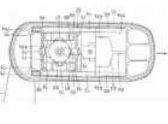
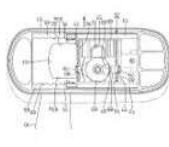
Die Energie zur Einstellung der Höhe, Tiefe und des seitlichen Abstandes, kann jeweils verschieden sein, deshalb wurde dieser Aspekt in drei separate Teilfunktionen aufgeteilt.

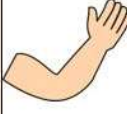
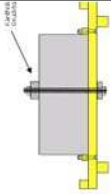
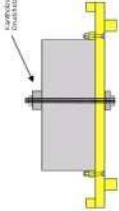
Für den Fall eines Controller-Austauschs wird die Teilfunktion für den Austauschmechanismus des Controllers definiert. Dies ermöglicht dem Benutzer, den Controller sicher zu wechseln, wenn dies erforderlich ist.

Damit der Benutzer den Controller ergonomisch greifen und den Arm bequem auflegen kann, muss die Armlehne eine entsprechende Armauflage aufweisen. Die genaue Form dieser Armauflage wird in der entsprechenden Teilfunktion ausgewählt.

Die Verbindung der Armlehne mit der Flugkabine erfordert besondere Aufmerksamkeit. Dabei wird sowohl der Ort der Verbindung als auch die Art der Verbindung in separaten Teilfunktionen spezifiziert. Dieser Ansatz bietet eine größere Flexibilität, da der Verbindungsort nicht zwangsläufig die Art der Verbindung festlegt und verschiedene Kombinationen möglich sind. Dies ermöglicht eine präzise Anpassung an die Anforderungen des Systems und gewährleistet eine hohe Flexibilität bei der Konstruktion der Armlehne.

Tabelle 3: Morphologischer Kasten

Teilfunktion / Lösung	1	2	3	4	5	6	7	8
Höhenverstellung	 [21] Schienenbolzenrastsystem	 [15] Schienenzähnrastsystem	 [22] 3D-Gelenkarm	 [23] Klappmechanismus	 [24] Gasdruckzylinder	 [25] Bewegungsschraube	 [26] Seilzug	 Kugeleinrastmechanismus
Tiefenverstellung	 [27] Schienensystem	 [28] Rollenführung	 [22] 3D-Gelenkarm	 [25] Bewegungsschraube	 [14] Führung mit Einrastelementen	 [29] Einrastscheibe	 [30] Keine	
seitliche Verstellung	 [31] Winkeländerung über Gelenk (in vertikaler Ebene)	 [31] Winkeländerung über Gelenk (in horizontaler Ebene)	 [14] Führung mit Einrastelementen	 [22] 3D-Gelenkarm	 [30] keine			
Energie für Höhenverstellung	 [32] Elektromotor	 [33] Muskelkraft						
Energie für Tiefenverstellung	 [32] Elektromotor	 [33] Muskelkraft						

Teilfunktion / Lösung	1	2	3	4	5	6	7	8
Energie für seitliche Verstellung	 [32] Elektromotor	 [33] Muskelfraft						
Auswechselmecha- nismus Controller	 [34] Klickmechanismus	 [35] Austauschbare Controllerhalterung	 [36] Schraubverbindung	 [37] Formschluss	 [38] Klemmverschluss			
Verbindungsart Arm- lehne zur Simulator- kabine	 Sitz	 [39] Airlineschiene	 Gelenkpunkt der Armlehne am Sitz					
Verbindungsart Arm- lehne zur Simulator- kabine	 [37] Formschluss	 [36] Schraubenverbindung	 [40] Steckverbindung	 [41] Bolzenverbindung				
Form der Armauf- lage	 [42] nach oben geformt	 [43] Flach mit kantigem Profil	 [44] Flach mit rundem Profil					

Teilfunktion / Lösung	1	2	3	4	5	6	7	8
Werkstoff der Arm- auflage	 [45] Stoffbezug mit Schaum	 [46] PU-Leder mit Schaum	 Hartplastik					
Austauschmecha- nismus Armauflage	 [36] Schraubenverbindung	 [40] Steckverbindung	 [41] Bolzenverbindung	 [30] keine				

3.3 Variantenbildung

Bei einer vollständigen Kombination einzelner Lösungen für jede Teilfunktion werden theoretisch mögliche Varianten für die Gesamtlösung erzeugt. Selbstverständlich sind nicht alle Kombinationen sinnvoll und verträglich. Nur die aussichtsreich erscheinenden werden weiterverfolgt [47].

Insgesamt wurden im Rahmen dieses Vorgehen drei verschiedene Lösungskonzepte erstellt. Im folgenden morphologischen Kasten (siehe Tabelle 4) kann die Kombination der Teillösungen nachvollzogen werden. Dabei ist das erste Lösungskonzept mit einer blauen Linie, das zweite mit einer grünen Strich-Linie und das dritte mit einer orangen Doppel-Linie dargestellt. In den drei folgenden Abschnitten werden die jeweiligen Konzepte erläutert.

Teilfunktion / Lösung	1	2	3	4	5	6	7	8
Energie für seitliche Verstellung	Elektromotor	Muskelkraft						
Auswechselmechanismus Controller	Klickmechanismus	Austauschbare Controller	Schraubverbindung	Formschluss	Klemmverschluss			
Verbindungsart Armlehne zur Simulatorkabine	Sitz	Airline-Schiene	Gelenkpunkt der Armlehne am Sitz					
Verbindungsart Armlehne zur Simulatorkabine	Formschluss	Schraubenverbindung	Steckverbindung	Bolzenverbindung				
Form der Armauflage	nach oben geformt	Flach mit kehligem Profil	Flach mit rundem Profil					
Werkstoff der Armauflage	Stoffbezug mit Schaum	PU-Leder mit Schaum	Hartplastik					

Teilfunktion / Lösung	1	2	3	4	5	6	7	8
Austauschmechanismus Armauflage	 Schraubenverbindung	 Steckverbindung	 Bolzenverbindung	 keile				
		Variante 3	Variante 2	Variante 1				

3.3.1 Variante 1

In der ersten Variante (siehe Abbildung 24) wurde der Schwerpunkt auf die Einfachheit der Konstruktion gelegt, insbesondere im Hinblick auf Fertigung und Herstellung. Da das Projekt am DLR gefertigt werden soll und die verfügbaren Fertigungsmaschinen und Verfahren begrenzt sind, ist es vorteilhaft, Mechanismen zu verwenden, die keinen übermäßigen Fertigungsaufwand erfordern.

Der Höhenverstellungsmechanismus orientiert sich an den Verstellmechanismen von Fitnessgeräten im Fitnessstudio. Ein Bolzen ist fest verschraubt und kann so weit herausgezogen werden, dass sich ein Profil hinter dem Bolzen verschieben kann. Wenn der Bolzen losgelassen wird, sorgt eine Feder dafür, dass der Bolzen in seine Ausgangsposition zurückkehrt und das Profil nicht mehr bewegt werden kann. Bei dieser Lösung können Normteile verwendet werden, und die Stabilität der Lösung hängt vom Durchmesser des Bolzens ab, die nach Bedarf variiert werden kann. Es besteht jedoch die Möglichkeit, dass Finger zwischen den Bolzen und dem Profil oder zwischen den beiden verschobenen Profilen eingeklemmt werden können, was konstruktiv verbessert werden muss.

Die Einstellung der Tiefe erfolgt über eine Schiene, was eine stufenlose Verstellung ermöglicht. Es gibt verschiedene Schienensysteme, die für eine Tiefenverstellung an der Armlehne geeignet sind und durch einen Festhaltemechanismus modifiziert werden können, um eine sichere Tiefenverstellung zu gewährleisten. Eine seitliche Verstellung ist in dieser Variante nicht vorgesehen, um den Verstellmechanismus nicht unnötig zu komplex zu gestalten.

Die Einstellungen an der Armlehne werden durch die Muskelkraft des Benutzers vorgenommen. Dies ist zwar nicht so komfortabel wie eine elektrische Verstellung, macht die gesamte Konstruktion jedoch einfacher, da keine Kabelführungen erforderlich sind und keine zusätzlichen Steuerelemente entwickelt werden müssen, um eine intuitive Steuerung zu ermöglichen. Die Einstellung per Muskelkraft erfolgt zudem schneller und unkomplizierter.

Der Controller wird mithilfe einer austauschbaren Controllerhalterung mit der Armlehne verbunden, was einen einfachen und sicheren Anschluss ermöglicht. Die Verbindung der Armlehne erfolgt über eine Airlineschiene, die am Boden des Flugsimulators befestigt ist. Auch hier können Normteile verwendet werden, um die Armlehne zu befestigen. Aufgrund der Bodenbefestigung ist die seitliche Stabilität der Armlehne gering und muss wahrscheinlich durch zusätzliche Verbindungen gesichert werden. Die Armauflage ist nach oben geformt und wird aus Plastik gefertigt.



Abbildung 24: Variante 1

3.3.2 Variante 2

Die zweite Variante (siehe Abbildung 25) konzentriert sich auf die Implementierung einfacher und intuitiver Verstellmechanismen sowie auf die Ergonomie der Armlehne selbst. In den Versuchen ist es von entscheidender Bedeutung, dass der Benutzer eine ergonomische Haltung einnehmen kann, um sich uneingeschränkt auf die Simulation konzentrieren zu können. Ein komfortables Benutzererlebnis im Flugsimulator trägt maßgeblich dazu bei, dass die Drohne präzise gesteuert werden kann. Aus diesem ergonomischen Gesichtspunkt heraus wird die Armlehne in Bezug auf Höhe, Tiefe und den seitlichen Abstand einstellbar gestaltet, um die individuellen Bedürfnisse der Benutzer bestmöglich zu berücksichtigen.

Die Verstellmechanismen werden bewusst manuell gestaltet, um die Systemkomplexität niedrig zu halten und eine zügige Einstellung zu ermöglichen. Insbesondere die Höheneinstellung erfolgt manuell, da sie aufgrund des größeren Verstellbereichs mit der Hand schneller und effizienter durchgeführt werden kann. Die Höheneinstellung basiert auf einem

Klappmechanismus, der aus drei Komponenten besteht: einem festen Profil, einem beweglichen Profil und einer Klappe. Das bewegliche Profil wird auf das feste Profil gesteckt, wobei das feste Profil über Rillen verfügt, in die die Klappe eingreifen kann. Die Klappe ist am beweglichen Profil befestigt. Durch Öffnen der Klappe kann die Höhe eingestellt werden, und durch Schließen der Klappe wird die Armlehne in der gewünschten Position fixiert.

Die Tiefenverstellung erfolgt über eine Rastung, die in regelmäßigen Abständen einrastet. Dies dient dazu, die Position auch bei größeren Belastungen des Mechanismus sicher zu halten. Bei dieser Form der Verstellung ist kein zusätzlicher Knopfdruck erforderlich, da die Einstellung direkt an der Armauflage vorgenommen wird.

Für die seitliche Einstellung wird ein Gelenk in die Armlehne integriert, durch das das Profil, an dem die Armauflage befestigt ist, in vertikaler Ebene verschoben werden kann. Ein größerer Winkel führt zu einem größeren seitlichen Abstand der Armauflage vom Mittelpunkt des Sitzes. Ein potenzieller Nachteil ist eine verringerte Höhe aufgrund der Winkeländerung, die jedoch durch die Höhenverstellung kompensiert werden kann.

Der Austausch des Controllers wird durch einen Klickmechanismus realisiert, was einen schnellen Austausch ermöglicht. Die Armlehne soll am Sitz befestigt werden, was eine sichere Anbringung gewährleistet, auch wenn der Sitz gegebenenfalls modifiziert werden muss. Die Verbindung erfolgt über eine Steckverbindung, wodurch die Armlehne leicht von der Simulorkabine getrennt werden kann.

Die Form der Armauflage ist flach und weist ein kantiges Profil auf, was eine einfache, käuflich erhältliche Armauflage darstellt. Der Werkstoff der Armauflage ist PU-Leder, das sich als robust und komfortabel erwiesen hat und leicht zu reinigen ist. Durch eine Bolzenverbindung kann die Armauflage einfach ausgetauscht werden.

**Abbildung 25: Variante 2**

3.3.3 Variante 3

Die dritte Variante (siehe Abbildung 26) der Armlehne legt den Schwerpunkt auf ein robustes Design und bevorzugt Lösungsansätze, die besonders widerstandsfähig sind. Der Höhenverstellungsmechanismus besteht aus zwei Schienen mit Zähnen, wobei eine Schiene in die andere geschoben wird. Die innere Schiene ist über einen Hebel beweglich, während sich in der äußeren Schiene ein Bolzen befindet, der durch eine Feder gelagert ist. Dieser Bolzen blockiert das System und fixiert die eingestellte Höhe. Wenn der Hebel betätigt wird, bewegt sich die innere Schiene nach oben. Die Zahngeometrie sorgt dafür, dass der Bolzen nach außen gedrückt wird und an den Zähnen der äußeren Schiene vorbeigleitet. Dadurch ist die Höheneinstellung der Armauflage möglich. Wenn der Hebel losgelassen wird, zieht eine Feder die innere Schiene in ihre Ausgangsposition zurück, und der Bolzen rastet in den nächsten Zahn ein, um die Höhe zu fixieren. Diese Art der Höhenverstellung vermittelt dem Benutzer ein sicheres Gefühl beim Verstellen und bietet ein auditives Feedback, wenn die Höhe korrekt eingestellt ist und der Bolzen einrastet. Zusätzlich ist die Einstellung über einen Hebel ergonomisch gestaltet und verringert das Risiko von Quetschverletzungen.

Die Konstruktion, Herstellung und Montage dieses Systems sind aufgrund der komplexen Geometrien und Toleranzen anspruchsvoll, insbesondere wenn keine Erfahrungswerte vorliegen.

Die Tiefenverstellung ist ebenfalls robust und kann Metallkomponenten im gesamten Mechanismus nutzen. Eine seitliche Verstellung wird nicht vorgesehen, um die Komplexität der Einstellung nicht weiter zu erhöhen. Die Einstellungen erfolgen manuell durch die Kraft des Benutzers, da eine elektrische Einstellung zusätzliche Verkabelung und die Entwicklung einer benutzerfreundlichen Schnittstelle erfordern würde, um die Einstellzeit der Armlehne unter 30 Sekunden zu halten.

Die Halterung für den Controller wird als Klemmverschluss ausgeführt. Dies kann dazu führen, dass der Controller während des Versuchs leicht verschoben wird, da die Verbindung auf Druck basiert. Die Austauschzeit des Controllers liegt im mittleren Bereich und hängt vom genauen Mechanismus ab, da der Controller präzise platziert und fixiert werden muss.

Als Anbindungspunkt an die Simulatorkabine wird der Punkt ausgewählt, an dem zuvor die Armlehne des vorhandenen Flugsitzes angebracht war. Dies bietet einen stabilen Befestigungspunkt für die Armlehne, begrenzt jedoch den Raum, in dem die Armlehne eingestellt werden kann. Die Konstruktion und Montage der Bauteile werden dadurch komplexer. Als Verbindungsart wird die Bolzenverbindung gewählt, was eine schnelle Montage an der Simulatorkabine ermöglicht und gleichzeitig eine einfache Demontage ermöglicht.

Die Form der Armauflage ist gerundet und bietet daher einen gewissen Komfort, mit weniger seitlichem Halt im Vergleich zu den anderen Wirkprinzipien. Der Bezug besteht aus Stoff mit Schaumstoffpolsterung, was zwar komfortabel ist, aber im Laufe der Zeit verschmutzen und abgenutzt werden kann. Über die Steckverbindung kann die Armauflage sicher befestigt und schnell ausgetauscht werden.



Abbildung 26: Variante 3

3.4 Bewertung via Nutzwertanalyse

Die Nutzwertanalyse ermöglicht es, die einzelnen Varianten mithilfe von Kriterien zu bewerten und ihnen Werte oder Punkte zuzuweisen, um ihre relative Leistungsfähigkeit und ihren Nutzen zu quantifizieren. Dies ermöglicht einen objektiven Vergleich der Varianten und hilft bei der Identifizierung derjenigen, die den größten Mehrwert und die besten Ergebnisse für die Benutzer bieten.

In der durchgeführten Nutzwertanalyse wurden verschiedene Kriterien betrachtet, um die Armlehnenvarianten zu bewerten. Die Kriterien umfassen:

- **Gestaltung:** Dieses Kriterium beschreibt die generelle Komplexität der Armlehne. Es berücksichtigt, wie viele Teile in der Armlehne vorhanden sind, welche Verbindungen vorgesehen sind und wie komplex die Geometrien in der Armlehne sind.
- **Wirkprinzip:** Hier wird festgelegt, welche Funktionen die Armlehne gemäß den Anforderungen erfüllt.
- **Fertigung:** Dieses Kriterium bewertet, wie einfach sich die Teile der Armlehne herstellen lassen, auch im Hinblick auf die Fähigkeiten der Werkstatt des DLRs. Es berücksichtigt auch, wie viele verschiedene Fertigungsverfahren benötigt werden.

- **Montage:** Die Montage beschreibt, wie einfach die gefertigten Bauteile zusammengebaut und miteinander verbunden werden können. Es berücksichtigt auch, wie viele verschiedene Werkzeuge dafür benötigt werden.
- **Ergonomie:** Dieses Kriterium bewertet, wie der Benutzer generell mit dem Produkt interagieren kann. Es umfasst die Intuitivität, den Komfort und die Benutzerfreundlichkeit der Armlehne.
- **Sicherheit:** Die Sicherheit bewertet den Grad der Gefahr, den die Armlehne für den Benutzer darstellen kann. Hierzu gehört die Wahrscheinlichkeit von unerwünschten Ablösungen oder Quetschgefahren für den Benutzer.
- **Zuverlässigkeit:** Die Zuverlässigkeit betrachtet die potenzielle Ausfallrate und den Verschleiß der Armlehne über einen längeren Zeitraum.
- **Kosten:** Dieses Kriterium bezieht sich auf die Gesamtkosten über den gesamten Produktlebenszyklus hinweg.

Um festzulegen, welche dieser Kriterien als am wichtigsten anzusehen sind, wurden sie anhand einer Gewichtungsmatrix gegenübergestellt. Die Gewichtungsmatrix (siehe Tabelle 5) ergab, dass Faktoren wie Sicherheit, Effizienz und Zuverlässigkeit als bedeutsamer angesehen werden als Kosten, Gewicht und Komfort. Dies unterstreicht die Priorität, die der Sicherheit und der langfristigen Zuverlässigkeit der Armlehne in diesem Kontext beigemessen wird.

Tabelle 5: Gewichtungsmatrix Hauptkriterien

Nr.	Hauptkriterien	1	2	3	4	5	6	7	8		
1	Zielkriterien	Gestaltung	Wirkprinzip	Fertigung	Montage	Ergonomie	Sicherheit	Zuverlässigkeit	Instandhaltung	Gesamt	in %
2	Gestaltung	1	0	0	2	0	0	2	2	7	10,9%
3	Wirkprinzip	2	1	2	2	0	0	2	2	11	17,2%
4	Fertigung	2	0	1	2	0	0	2	2	9	14,1%
5	Montage	0	0	0	1	0	0	2	2	5	7,8%
6	Ergonomie	2	2	2	2	1	2	2	2	15	23,4%
7	Sicherheit	2	2	2	2	0	1	2	2	13	20,3%
8	Aufwand	0	0	0	0	0	0	1	2	3	4,7%
9	Instandhaltung	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1,6%

Für eine genauere Bewertung wurde die Hauptmatrix um eine zusätzliche Untermatrix erweitert, die speziell auf das Kriterium "Ergonomie" ausgerichtet ist. Dieser Schritt wurde aufgrund der Erkenntnis unternommen, dass das Hauptkriterium "Ergonomie" ein breites Spektrum an produktspezifischen Anforderungen und Wirkprinzipien abdeckt. Die starke Verallgemeinerung dieses Kriteriums könnte zu Schwierigkeiten bei der Selbstreflexion und der anschließenden Umsetzung des methodischen Bewertungsprozesses führen.

Die Untermatrix für die Ergonomie (siehe Tabelle 6) ermöglicht eine detaillierte Analyse und Bewertung spezifischer ergonomischer Aspekte, die in der Gesamtbewertung der Armlehnenvarianten von entscheidender Bedeutung sind. Diese Differenzierung erleichtert eine präzisere Einschätzung der Ergonomieaspekte und trägt dazu bei, die Anforderungen und Wirkprinzipien in diesem Bereich genauer zu definieren und zu bewerten. Dies ist von großer Bedeutung, da

die Ergonomie einen wesentlichen Einfluss auf den Benutzerkomfort und die Benutzerfreundlichkeit der Armlehne hat.

Tabelle 6: Gewichtungsmatrix Unterkriterien Ergonomie

Nr.	Unterkriterien Ergonomie	1	2	3	4		
1	Zielkriterien	Bedienerfreundlichkeit	Austauschbarkeit Controller	Unterstützung Arm	Komfort	Gesamt	in %
2	Bedienerfreundlichkeit	1	2	2	2	7	43,8%
3	Austauschbarkeit Controller	0	1	0	0	1	6,3%
4	Unterstützung des Arms	0	2	1	0	3	18,8%
5	Komfort	0	2	2	1	5	31,3%

Die *Ergonomie* enthält unter anderem die verschiedenen Wirkprinzipien der *Einstellmöglichkeiten* sowie die Form und Material der Armauflage. In einem Konzept könnte eines der Prinzipien eine gute Lösung darstellen, das andere wiederum nur eine mangelhafte Lösung sein. Andersherum könnten auch zwei befriedigende Lösungen der beiden Unterpunkte vorliegen. Das Problem besteht dann in der Punktevergabe des eigentlichen Kriteriums *Ergonomie*. Beide Konzepte können eine gleiche Bewertung erhalten, obwohl völlig unterschiedlich geeignete Lösungsprinzipien vorliegen. Schließlich wäre es auch nicht möglich, die Wirkprinzipien der Unterpunkte für die methodische Schleife gezielt zu betrachten und auszutauschen, um das Werteprofil des finalen Konzeptes auszugleichen. Demzufolge wurde das Hauptkriterium *Ergonomie* in die Unterkategorien *Bedienerfreundlichkeit*, *Austauschbarkeit Controller*, *Unterstützung des Arms* und *Komfort* geclustert und ebenso gegeneinander gewichtet.

Das Ergebnis der Gewichtung zeigt, dass die Ergonomie mit 23,4 % als wichtigste Kriterien aufgefasst werden, direkt gefolgt von Sicherheit mit 20,3 % und dem Wirkprinzip mit 17,2%. Dies beruht auf dem Fokus der Armlehne auf die Versuchsperson, die sich während des Versuches wohlfühlen soll und sich nicht verletzt. Weniger Beachtung kam der Montage mit 7,8 % und der *Aufwand* mit 4,7 % sowie der *Instandhaltung* mit 1,6 % zu, da die Montage nur einmal durchgeführt wird zusätzlich wird die Armlehne im inneren betrieben wird und sie über wenige bewegte Teile verfügt, die gewartet werden müssen und Kosten und Zeitplan sind sehr großzügig ausgelegt und müssen wenig beachtet werden.

Mit den erhaltenen Gewichtungsfaktoren ist es abschließend möglich, eine Bewertung der drei Konzeptvarianten durchzuführen. Die Nutzwertanalyse ist dafür eine geeignete Methode, die zur Festlegung der Vorzugsvariante ihre Anwendung findet.

Ziel ist es, die vorhandenen Lösungsalternativen mit Hilfe eines Wertesystems so miteinander zu vergleichen, dass die Entscheidungsfindung maximal unterstützt wird.

Dabei werden die vorher festgelegten Zielvorstellungen in einer Zielgrößenmatrix zusammengefasst. Anschließend werden die drei Lösungskonzepte in allen Kategorien miteinander

verglichen und nach Punkten bewertet. Das gewählte Punktesystem (Siehe Tabelle 7) verläuft von 0 (absolut unbrauchbare Lösung) bis 10 (Ideallösung). Die Punkte werden direkt mit den Gewichtungsfaktoren multipliziert und ergeben einen gewichteten Nutzwert. Durch Aufsummieren der Einzelwerte für jede Variante erhält man den Gesamtwert, welcher ausschlaggebend für die Wahl der Vorzugsvariante ist [48]. In der dargestellten Zielgrößenmatrix (siehe Tabelle 8) lassen sich die Ergebnisse der drei Lösungsvarianten und deren jeweilige Kriterienbeurteilung einsehen:

Tabelle 7: Werteskala für Nutzwertanalyse nach [49]

Punkte	Bedeutung
0	Absolut unbrauchbare Lösung
1	Sehr mangelhafte Lösung
2	Schwache Lösung
3	Tragbare Lösung
4	Ausreichende Lösung
5	Befriedigende Lösung
6	Gute Lösung mit geringen Mängeln
7	Gute Lösung mit geringen Mängeln
8	Sehr gute Lösung
9	Über die Zielvorstellung hinausgehende Lösung
10	Ideallösung

Tabelle 8: Zielgrößenmatrix

Nutzwertanalyse			Variante 1		Variante 2		Variante 3	
Nr.	Bewertungskriterien	Gewichtung in %	Wert W1	gew. Wert W1	Wert W2	gew. Wert W2	Wert W3	gew. Wert W3
1	Gestaltung	10,9%	8	0,88	3	0,33	4	0,44
2	Wirkprinzip	17,2%	5	0,86	7	1,20	6	1,03
3	Fertigung	14,1%	8	1,13	4	0,56	3	0,42
4	Montage	7,8%	8	0,63	5	0,39	4	0,31
5	Ergonomie (23,4 %)							
	Bedienerfreundlichkeit	10,3%	7	0,72	6	0,62	8	0,82
	Austauschbarkeit Controller	1,5%	6	0,09	9	0,13	7	0,10
	Unterstützung des Arms	4,4%	8	0,35	6	0,26	3	0,13
	Komfort	7,3%	3	0,22	8	0,59	7	0,51
6	Sicherheit	20,3%	4	0,81	6	1,22	8	1,63
7	Aufwand	4,7%	8	0,38	3	0,14	4	0,19
8	Instandhaltung	1,6%	7	0,11	6	0,09	5	0,08
Summe		100,0%	72	6,16	63	5,53	59	5,66

Variante 1 zeichnet sich durch ihre Einfachheit aus, insbesondere in Bezug auf die Fertigung und Konstruktion. Die Höhen- und Tiefenverstellung basieren auf Kaufteilen, was die Fertigung

vereinfacht und die Kosten senkt. Die Entscheidung, auf eine seitliche Verstellbarkeit zu verzichten, reduziert die Teileanzahl und die Gesamtkomplexität. Die nach oben gewölbte Armauflage bietet jedoch einen guten Seitenhalt. Daher erhielt diese Variante sehr gute Bewertungen für Gestaltung, Fertigung, Montage und Aufwand.

Die Schwächen dieser Variante liegen in den Bereichen Sicherheit und Komfort. Bei der Höhenverstellung kann es zu Einklemmungen kommen, und die nach oben gewölbte Armauflage kann potenzielle Stolperstellen schaffen.

Variante 2 hingegen ist ergonomisch ausgerichtet, bietet einen einfachen Austausch des Controllers und eine bequeme, seitlich und tiefenverstellbare Armauflage mit Kunstlederbezug. Dies ermöglicht eine komfortable Anpassung und einen schnellen Austausch des Controllers. Allerdings wurden die Gestaltung und der Aufwand weniger positiv bewertet, da die komplexeren Verstellmechanismen die Anzahl der Komponenten erhöhen und anspruchsvollere Toleranzen erfordern. Die Kosten sind ebenfalls hoch, und der Stoffbezug der Armauflage ist anfällig für Verschmutzungen und aufwändig zu reinigen.

Variante 3 punktet mit Benutzerfreundlichkeit, Komfort und Sicherheit. Die Verstellmechanismen sind einfach und ermöglichen präzise Einstellungen. Der robuste Höhenverstellmechanismus birgt keine Verletzungsgefahr beim Verstellen. Allerdings wird diese Variante aufgrund ihrer Komplexität in den Bereichen Gestaltung, Fertigung und Montage weniger positiv bewertet.

In der Gesamtbewertung setzte sich die erste Variante mit einer Punktzahl von 6,12 durch. Die Variante zwei und drei erzielten Gesamtpunktzahlen von 5,53 bzw. 5,66 und wurden daher als befriedigend bewertet. Somit wurde Variante 1 als bevorzugtes Konzept ausgewählt und kann für weitere Entwicklungsphasen verwendet werden.

3.5 Durchführung einer Iterationsschleife zur Verbesserung des Vorzugsvariante

Das erste Konzept erzielte bei der Bewertung die höchste Gesamtpunktzahl von 6,12. Dennoch soll im Zuge einer Iterationsschleife geprüft werden, ob durch den Austausch bestimmter Wirkprinzipien aus Konzepten mit geringerer Gesamtpunktzahl die Gesamtbewertung weiter gesteigert werden kann. Ziel ist es, das Vorzugskonzept noch effizienter zu gestalten.

Die Iterationsschleife beinhaltet die Analyse der einzelnen Wirkprinzipien der Varianten eins, zwei und drei, um potenzielle Verbesserungen zu identifizieren. In diesem Zusammenhang ergeben sich folgende Änderungen:

- **Tiefen- und seitliche Verstellung:** Die bisherige Lösung wird durch eine Führung mit Einrastelementen ersetzt. Dadurch wird nicht nur die Tiefenverstellung ermöglicht, sondern auch eine seitliche Verstellung der Armauflage. Dieser Mechanismus kann mittels eines Knopfes bedient werden, wodurch die Benutzerfreundlichkeit erhalten bleibt und der Komfort für den Arm verbessert wird. Die Verwendung desselben Mechanismus für beide Verstellungen führt nicht zu einer Erhöhung der Komponentenzahl und beeinflusst die Gestaltung, den Aufwand und die Montage nicht negativ.
- **Form der Armauflage:** Die Form der Armauflage wird modifiziert, um ein flaches und kantiges Profil zu erzeugen, was dazu dient, den Komfort zu steigern. Diese Änderung resultiert in einer gewissen Verringerung der seitlichen Unterstützung, jedoch führt sie insgesamt zu einer gesteigerten Komfortabilität, da der Arm eine größere Auflagefläche zur Verfügung hat.
- **Armauflagenmaterial:** Statt des bisherigen Materials wird Kunstleder verwendet, um den Komfort und den Seitenhalt zu erhöhen. Kunstleder ist weicher als Hartplastik, und das Eintauchen in das Polster bietet zusätzlichen Seitenhalt.
- **Austauschmechanismus der Armauflage:** Der bisherige Austauschmechanismus wird durch eine Schraubenverbindung ersetzt. Dadurch wird der Austausch der Armauflage vereinfacht, was die Montage und die Instandhaltung erleichtert, insbesondere wenn das Polster ausgetauscht werden muss.

Diese vorgeschlagenen Änderungen zielen darauf ab, die Ergonomie, den Komfort und die Benutzerfreundlichkeit des Vorzugskonzepts zu verbessern, ohne dabei die Gestaltung, den Aufwand oder die Montage wesentlich zu beeinträchtigen. Damit wird angestrebt, die Gesamtpunktzahl des Konzepts weiter zu erhöhen und es noch besser an die Bedürfnisse der Nutzer anzupassen. Die Bewertung der Anpassungen werden in Tabelle 9 dargestellt.

Tabelle 9: Bewertung der veränderten Variante 1

Nutzwertanalyse			Variante 1		Vorzugsvariante	
Nr.	Bewertungskriterien	Gewichtung in %	Wert W1	gew. Wert W1	Wert Wvv	gew. Wert Wvv
1	Gestaltung	10,9%	8	0,88	8	0,88
2	Wirkprinzip	17,2%	5	0,86	8	1,38
3	Fertigung	14,1%	8	1,13	6	0,84
4	Montage	7,8%	8	0,63	8	0,63
5	Ergonomie (23,4 %)					
	Bedienerfreundlichkeit	10,3%	7	0,72	8	0,82
	Austauschbarkeit Controller	1,5%	6	0,09	6	0,09
	Unterstützung des Arms	4,4%	8	0,35	6	0,26
	Komfort	7,3%	3	0,22	8	0,59
6	Sicherheit	20,3%	4	0,81	6	1,22
7	Aufwand	4,7%	8	0,38	7	0,33
8	Instandhaltung	1,6%	7	0,11	6	0,09
Summe		100,0%	72	6,16	77	7,12

Werden die Veränderungen des Konzeptes in der Bewertung berücksichtigt, ergibt sich eine neue Gesamtpunktzahl von 7,12. Die erhaltene Gesamtpunktzahl ist somit um 0,96 Punkte höher als die des ursprünglichen Vorzugskonzeptes. Daher ist die Verwendung einer Iterationsschleife als erfolgreich zu bewerten. Die optimierte Variante zwei soll im Folgenden die Basis des Konzeptes darstellen und wird in der Konstruktion weiterbearbeitet.

3.6 Finales Lösungskonzept

Die bevorzugte Variante der Armlehne zeichnet sich durch mehrere herausragenden Merkmale aus:

- **Verstellmöglichkeiten:** Diese Armlehne bietet eine dreidimensionale Verstellbarkeit, einschließlich Höhen-, Seiten- und Tiefenverstellung. Die Höhenverstellung erfolgt durch einen Rastbolzen, während die Seiten- und Tiefenverstellung durch einen Mechanismus ermöglicht wird, bei dem ein Bolzen in eine Platte eingreift. Dies erlaubt es dem Benutzer, die Armlehne präzise an seine Bedürfnisse anzupassen.
- **Controller-Halterung:** Die Halterung für den Controller kann ausgetauscht werden, um eine sichere Verbindung zwischen dem Controller und der Armlehne sicherzustellen.

Obwohl der Austauschvorgang etwas langsamer ist als bei anderen Mechanismen, steht die Sicherheit an erster Stelle, insbesondere vor Experimenten oder Simulationen.

- **Verbindung zur Simulatorkabine:** Die Armlehne wird mithilfe der bereits in der Simulatorkabine vorhandenen Airlineschienen sicher befestigt. Diese Schienen bieten eine stabile Verbindung und können mit zahlreichen handelsüblichen Verbindungselementen verwendet werden.
- **Form und Material der Armauflage:** Die Armauflage ist flach und weist ein kantiges Profil auf, um einen angemessenen Kompromiss zwischen Komfort und Unterstützung des Arms zu bieten. Das Kunstlederpolster ist einfach zu reinigen, robust und komfortabel. Abhängig von der spezifischen Art des Kunstleders kann es auch etwas Seitenhalt bieten.
- **Austauschmöglichkeit der Armauflage:** Die Armauflage kann über eine Schraubenverbindung ausgetauscht werden, was die Montage und Instandhaltung erheblich vereinfacht und zusätzliche Stabilität bietet.

Insgesamt bietet diese Vorzugsvariante (siehe Abbildung 27) eine hohe Anpassungsfähigkeit und Sicherheit für den Benutzer, ohne dabei den Komfort und die Benutzerfreundlichkeit zu vernachlässigen.



Abbildung 27: Vorzugsvariante

4 Umsetzung des ausgewählten Lösungskonzepts

Nach der Erstellung des Konzepts folgt die Umsetzung, sodass das Konzept gefertigt werden kann. Dieser Prozess erfolgt in mehreren aufeinander aufbauenden Teilprozessen.

Zunächst wird das Lösungskonzept mit Hilfe einer CAD--Software modelliert und die gewählten physikalischen Wirkprinzipien auskonstruiert.

Darauffolgend werden FE--Belastungsanalysen durchgeführt, um sicherzustellen, dass die Armlehne den unterschiedlichen Lastszenarien standhält. Nach Fertigstellung der Modellierung/Konstruktion und der Belastungsanalysen folgt die Erstellung normgerechter technischer Zeichnungen bestehend aus Bauteilzeichnungen der einzelnen Bauteile und Zusammenbauzeichnungen. Anschließend werden die technischen Zeichnungen für die Fertigung an die Werkstatt des DLRs abgegeben, die gleichzeitig für die Beschaffung der Norm- und weiteren Kaufteile zuständig ist.

4.1 Versuche für Konstruktionsentscheidungen

Es wurden drei Versuche durchgeführt, die die konstruktiven Entscheidungen maßgeblich beeinflussen haben.

4.1.1 Kopffreiheit mit VR-Brille

In der ursprünglichen Anforderungsliste wurde spezifiziert, dass die Position der Armlehne auf der rechten Seite der Versuchsperson platziert sein soll. Während der Diskussionen wurde davon ausgegangen, dass der Sitzplatz am Gang genutzt wird. Diese Annahmen ergeben zwei potenzielle Lösungen: Entweder müssen zwei verschiedene Armlehnen für jede Sitzseite konstruiert werden, oder es ist erforderlich, die Position der Flugbänke in der Kabine so anzupassen, dass ausreichend Platz zwischen den Sitzreihen vorhanden ist.

Eine alternative Lösung besteht darin, die gegenüberliegende Sitzbank zu verwenden, wodurch zwei Versuchspersonen am Rand der Flugkabine und zwei am Gang sitzen. Dieser Ansatz ermöglicht es, die Kopffreiheit am Rand der Flugkabine zu überprüfen, insbesondere unter Berücksichtigung der Verwendung von MR-Brillen. Zu diesem Zweck hat eine Versuchsperson, die eine Größe von 1,85 Metern aufweist, Platz genommen (siehe Abbildungen 28) und dabei die MR-Brille getragen. Während dieses Tests (siehe Abbildungen 29) wurden Bewegungen durchgeführt, die auch in den geplanten Versuchen auftreten könnten, darunter das Drehen des Kopfes nach rechts, nach rechts unten und nach rechts oben.

Das Ergebnis dieses Tests zeigt, dass ausreichend Platz vorhanden ist und die MR-Brille nicht mit der Kabinenwand in Konflikt gerät. Somit sind die Voraussetzungen für die geplante Durchführung der Versuche bezüglich der Kopffreiheit erfüllt.



Abbildung 28: Ausgangsposition



Abbildung 29: Abstand zur Kabine bei Kopfbewegung nach rechts

4.1.2 Druckkraft für Verstellungsknopf untersuchen

Um die angemessene Druckkraft zu bestimmen, die benötigt wird, um den Knopf zur Einstellung der Armauflage zu betätigen, wurde ein Druckkraftmessgerät (Abbildung 30) verwendet. Dieses Messgerät ermöglichte die Messung der aufgebrachten Kraft auf einen Knopf (Abbildung 31), der die Seiteneinstellung eines Bürostuhl ermöglicht.



Abbildung 30: Kraftmessgerät



Abbildung 31: Messen der Druckkraft

Die gemessene Druckkraft betrug 15 Newton (N). Dieser Wert dient als Orientierungspunkt für die Auslegung der Federn und anderer mechanischer Elemente, die in den Verstellmechanismus der Armauflage integriert werden. Die Wahl einer angemessenen Druckkraft ist entscheidend, um sicherzustellen, dass die Bedienung des Knopfes für die Einstellung der Armauflage für die Versuchspersonen komfortabel und benutzerfreundlich ist.

4.1.3 Beinfreiheit

Ein Container, der die Armlehne darstellt, wird neben die Beine der Versuchsperson positioniert (siehe Abbildung 32). Die Demonstration hat das Ziel zu zeigen, dass die Beine während des Versuchs nicht durch die Armlehne behindert werden. Dies ist ein wichtiger Aspekt der Ergonomie und des Komforts, um sicherzustellen, dass die Versuchspersonen während des Experiments eine bequeme und uneingeschränkte Position einnehmen können. Es wurde bestimmt, dass der Abstand von der Sitzfläche (siehe Abbildung 33) mindestens 7 cm betragen soll.

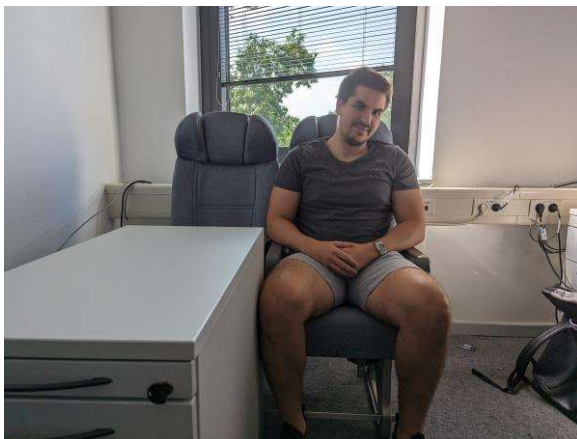


Abbildung 32: Abstand des Containers zu gering eingeschränkte Beinfreiheit



Abbildung 33: uneingeschränkte Beinfreiheit

4.2 Auslegungsberechnungen

Bevor mit der Konstruktion begonnen wurde, wurden die Keilverbindung für den Entsperrmechanismus berechnet und die Federkennlinien der in der Armllehne eingesetzten Federn.

4.2.1 Berechnung der Keilverbindung

Die Keilverbindung (siehe Abbildung 34) besteht aus zwei Keilen, die aufeinander liegen. Durch das Bewegen des einen Keils in horizontaler Richtung verschiebt sich der andere Keil in Vertikaler Richtung. Für die Auslegung ist wichtig, dass keine Selbsthemmung auftritt. Dabei ist F_1 aufgewendete Kraft, F_2 die abgegebene Kraft, α beschreibt den Winkel der beiden Keile und μ ist der Reibungskoeffizient.

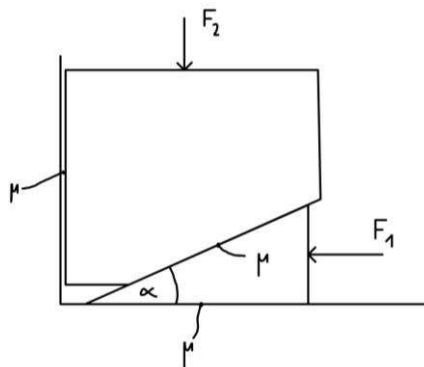


Abbildung 34: Keilverbindung

Selbsthemmung tritt auf, wenn die abgegebene Kraft kleiner gleich Null ist. Die Einflussfaktoren sind die Reibung und der Winkel der Keilverbindung.

Orientiert wurde sich bei der Berechnung bei der Formel für Keilverbindungen aus dem Tabellenbuch Metall [50]. In dem Buch ist eine Formel für eine Keilverbindung ohne Reibung angegeben.

Bei der Keilverbindung in der Armllehne werden treten drei Reibungskontakte auf. Der untere Keil reibt auf dem Boden, auf dem dieser aufliegt und an dem anderen Keil. Der zweite Keil reibt an dem ersten Keil und an der Wand gegen, die dieser vom ersten Keil geschoben wird. Der Reibungskoeffizient ist für alle drei Kontakte identisch und orientiert sich an einer Kunststoff-Metall Paarung mit 0,14 [51]. Der Winkel der Keile wird als 14 Grad angenommen dieser kann verändert werden abhängig von den Ergebnissen. Als aufgewendete Kraft werden 15 N angenommen, die im vorherigen Experiment bestimmt wurden sind.

Gesucht wird die abgegebene Kraft. Gegeben sind die der Winkel der Keile $\alpha = 14^\circ$, die Reibung $\mu = 0,14$ und die aufgewendete Kraft $F_1 = 15 \text{ N}$. Die Gewichtskraft des angehobenen Keils kann vernachlässigt werden, da das Teil ein geringes Gewicht hat. Für die Berechnung werden die Kontakte freigeschnitten und Kraftecken für jeden Keil gebildet.

Es ergibt sich die Gleichung:

$$F_2 = F_1 * (1 - \mu^2) * \frac{\cos(\alpha)}{2\mu * \cos(\alpha) + (1 - \mu^2) * \sin(\alpha)} - F_1 * 2\mu * \frac{\sin(\alpha)}{2\mu * \cos(\alpha) + (1 - \mu^2) * \sin(\alpha)} \quad (1.1)$$

Einsatz der gegeben Größen ergibt:

$$F_2 = 31,6 \text{ N} \quad (1.2)$$

Übersetzungsverhältnis der Keilpaarung:

$$U = \frac{F_1}{F_2} = 0,475 \quad (1.3)$$

Die abgegebene Kraft F_2 ist größer als Null, das heißt es liegt keine Selbsthemmung vor.

4.2.2 Auslegung der Federn

Es ist vorgesehen, dass zwei Zugfedern am unteren Keil angreifen und das eine Druckfeder den oberen Keil nach unten drückt. Damit die Druckkraft des Knopfes 15 N beträgt. Muss die Kraft auf die Druck- und Zugfedern verteilt werden mit Berücksichtigung des Übersetzungsverhältnisses bei der Druckfeder. Es wurde sich für drei Federn der Firma Gutekunst entschieden. Die beiden Zugfedern erzeugen entsprechend dem Federweg eine Kraft von 3,6 N und die Druckfeder eine Kraft von 14,4 N.

Federweg Druckfeder: $s_D = 2 \text{ mm}$

Federweg Zugfeder $s_Z = 7,1 \text{ mm}$

Federrate Druckfeder $R_D = 7,164 \frac{\text{N}}{\text{mm}}$

Federrate Zugfeder $R_Z = 0,511 \frac{\text{N}}{\text{mm}}$

Federkraft Zug- und Druckfeder

$$F_D = R * s_D = 14,371 \text{ N und } F_Z = R * s_Z = 3,628 \text{ N} \quad (1.4)$$

Gesamtkraft:

$$F_{ges} = 2 * F_Z + F_D * U = 14,1 \text{ N} \quad (1.5)$$

Die Druckkraft auf den Knopf beträgt maximal 14,1 N. Aufgrund der Federn steigt die Kraft, mit der Knopf gedrückt werden muss, linear an.

4.3 Modellierung des ausgewählten Konzepts in CAD

Die Modellierung und Konstruktion basieren auf der Vorzugsvariante. Dabei werden die Bauteile nach Normen und fertigungsgerechten Vorgaben aus dem Tabellenbuch Metall in Catia V5 erstellt. Die technischen Zeichnungen werden ebenfalls mit dieser Software angefertigt. Dieser Ansatz gewährleistet eine standardisierte und effiziente Herstellung der Armlehne, wodurch die Qualität und Präzision des Produkts sichergestellt werden können.

4.3.1 Nomenklatur des CAD-Modells

Bei der Erstellung des CAD-Modells wurde eine Nomenklatur im Strukturbaum (siehe Abbildung 35) verwendet, die aus drei Teilen besteht. Der erste Teil ist das Kürzel des Gesamtprojektes "VaRm", was für "VR" und "Armlehne" steht. Der zweite Teil setzt sich aus einer Kombination von Buchstaben und Zahlen zusammen. Die Buchstaben geben an, um welche Art von Komponenten es sich handelt, während die Zahl die Reihenfolge der Komponenten angibt. Dabei werden die Buchstaben "B", "E" und "N" verwendet. Das "B" steht für Baugruppe, das "E" für Einzelteil und das "N" für Normteil. Falls es Unterbaugruppen in einer Baugruppe gibt, werden die Buchstaben "UB" verwendet. Diese Nomenklaturstruktur hilft bei der klaren Identifizierung und Organisation der verschiedenen Bauteile und Unterbaugruppen im CAD-Modell.

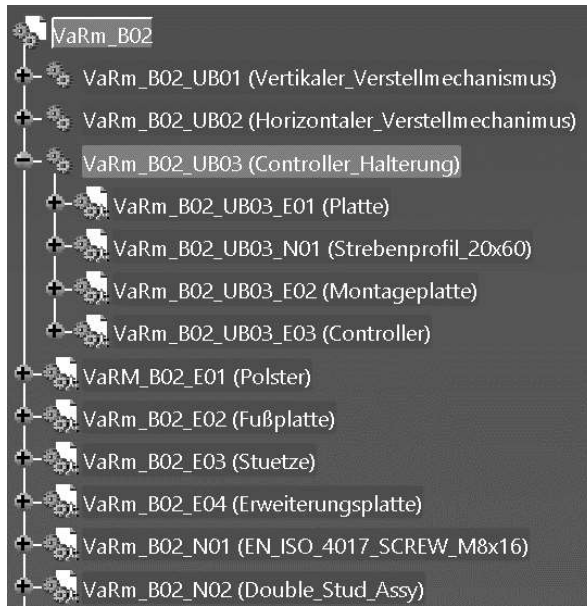


Abbildung 35: Nomenklatur im Strukturbaum

VaRm_N01_Airlineschiene.CATPart	04.08.2023 18:51	CATIA Teil
VaRm_E03_Schaufensterpuppe_sitzend_1.76m.CATP...	08.08.2023 09:25	CATIA Teil
VaRm_E02_Symbol_DLR.CATPart	04.08.2023 14:26	CATIA Teil
VaRm_E01_Boden.CATPart	04.08.2023 14:25	CATIA Teil
VaRm_B03.CATProduct	04.08.2023 18:51	CATIA Produkt
VaRm_B02_UB03_N01_Strebenprofil_20x60.CATPart	04.08.2023 11:51	CATIA Teil
VaRm_B02_UB03_E03_Controller.CATPart	04.08.2023 11:51	CATIA Teil
VaRm_B02_UB03_E02_Montageplatte.CATPart	04.08.2023 11:51	CATIA Teil
VaRm_B02_UB03_E01_Platte.CATPart	15.08.2023 10:37	CATIA Teil
VaRm_B02_UB03_Controller_Halterung.CATProduct	01.09.2023 23:39	CATIA Produkt
VaRm_B02_UB02_UUB01_Verstellknopf.CATProduct	01.09.2023 16:58	CATIA Produkt
VaRm_B02_UB02_UUB01_E07_Gleitpad.CATPart	21.08.2023 14:15	CATIA Teil
VaRm_B02_UB02_UUB01_E06_Gleitpad.CATPart	21.08.2023 14:15	CATIA Teil
VaRm_B02_UB02_UUB01_E06_Gleitpad..CATPart	21.08.2023 14:15	CATIA Teil
VaRm_B02_UB02_UUB01_E05_Gleitpad.CATPart	21.08.2023 14:15	CATIA Teil
VaRm_B02_UB02_UUB01_E05_Gleitpad..CATPart	21.08.2023 14:15	CATIA Teil
VaRm_B02_UB02_UUB01_E04_Gleitpad.CATPart	21.08.2023 14:15	CATIA Teil
VaRm_B02_UB02_UUB01_E03_Stab.CATPart	21.08.2023 14:15	CATIA Teil
VaRm_B02_UB02_UUB01_E02_Entsperblock.CATPart	01.09.2023 01:52	CATIA Teil
VaRm_B02_UB02_UUB01_E01_Knopf.CATPart	01.09.2023 16:58	CATIA Teil
VaRm_B02_UB02_N07_Zugfeder.CATPart	04.09.2023 16:28	CATIA Teil
VaRm_B02_UB02_N06_Feder_0,63x2,37x6,6_mm.CAT...	04.09.2023 16:28	CATIA Teil
VaRm_B02_UB02_U05_EN_ISO_10642_M3x12.CATPart	04.08.2023 11:51	CATIA Teil
VaRm_B02_UB02_N04_EN_ISO_10642_M3x8.CATPart	04.08.2023 11:51	CATIA Teil
VaRm_B02_UB02_N03_EN_ISO_10642_M3x8.CATPart	04.08.2023 11:51	CATIA Teil
VaRm_B02_UB02_N02_EN_ISO_10642_M3x8.CATPart	04.08.2023 11:51	CATIA Teil
VaRm_B02_UB02_N01_zf-1002-0.1.CATPart	04.08.2023 11:51	CATIA Teil
VaRm_B02_UB02_Horizontaler_Verstellmechanismus...	01.09.2023 23:39	CATIA Produkt

Abbildung 36: Nomenklatur am Speicherort

Ein Beispiel für die Nomenklatur ist „VaRm_B01_E03_xy“. Durch die Nomenklatur ist zu erkennen, dass es bei diesem Fall um das dritte Einzelteil in der ersten Baugruppe mit dem Namen xy handelt. In jeder Baugruppe beginnt die Nummerierung der Einzel- und Normteile jeweils bei 1. Eine Baugruppe kann aus mehreren Unterbaugruppen, Einzel- und Normteilen bestehen. Die Ausnahme der Nomenklatur ist die gesamte Baugruppe, diese beinhaltet nur das Kürzel des Projektes und den Namen der Baugruppe. Außerdem wurde der Namen der Gesamtbaugruppe am Speicherort (siehe Abbildung 36) mit einem Unterstrich gespeichert und steht dadurch in der Ordnerstruktur ganz oben.

4.3.2 Simulatorkabine

Der Beginn des Modellierungsprozesses umfasste die Nachmodellierung der Simulatorkabine (siehe Abbildung 37). Dies war notwendig, um die Dimensionen der Armlehne entsprechend anpassen zu können. Die Simulatorkabine selbst ist aus vier zweisitzigen Flugbänken aufgebaut, die jeweils auf zwei Airlineschienen an beiden Seiten der Kabine befestigt sind. Die Bodenstruktur sowie die hintere Wand der Kabine sind ebenfalls Teil dieses Modells und enthalten DLR-Symbole sowie eine menschenähnliche Dummy-Figur. Diese Gesamtnachbildung der Kabine bildet die Basis für die weitere Konstruktion der Armlehne und ermöglicht eine realistische Integration in die Simulationseinrichtung.



Abbildung 37: Simulatorkabine

4.3.3 Horizontaler Verstellmechanismus

Die erste Baugruppe ist der Horizontale Verstellmechanismus (Abbildung 38), der die Tiefen- und Seitenverstellung der Armauflage ermöglicht. Der Mechanismus besteht grundlegend aus zwei Platten, die aufeinander liegen.

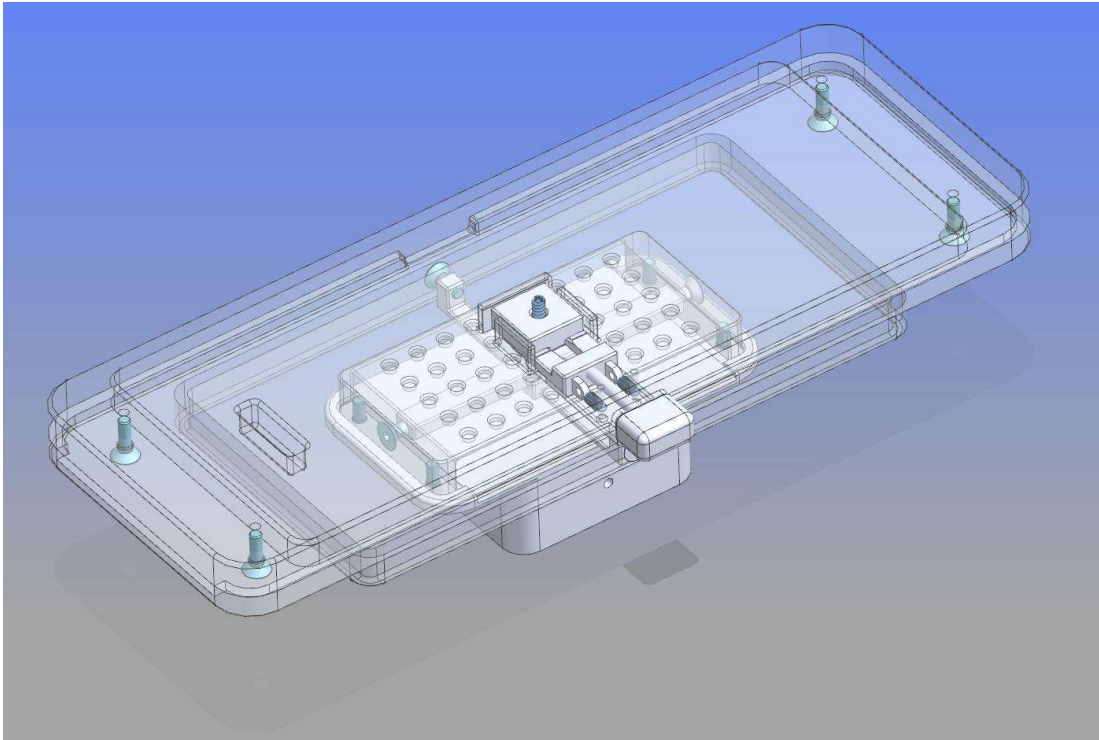


Abbildung 38: Horizontaler Verstellmechanismus

Die Konstruktion der Armlehne besteht aus zwei Hauptelementen: der unteren Platte, die im weiteren Verlauf der Modellierung als "Lochadapter" bezeichnet wird, und der oberen Platte, die als "Verschiebeplatte" bezeichnet wird.

Der Lochadapter, ist mit Bohrungen versehen und dient zur Verbindung mit der Simulatorkabine. Sie bildet die Basis, auf der die Armlehne sicher befestigt wird.

Die Verschiebeplatte, verfügt über einen Bolzen, der durch Betätigung eines Knopfes vertikal bewegt werden kann. Wenn der Bolzen in eine der Bohrungen des Lochadapters eingreift, wird die Verschiebeplatte fest mit dem Lochadapter verbunden. Durch Drücken des Knopfes kann der Bolzen nach oben bewegt werden, wodurch die Verschiebeplatte entkoppelt wird und frei bewegt werden kann. Sobald der Knopf losgelassen wird, bewegt sich der Bolzen nach unten und rastet in das nächste Loch des Lochadapters ein, wodurch die Höheneinstellung in diskreten Schritten erfolgt.

Die Herausforderung bei der Konstruktion besteht darin, den Mechanismus so flach wie möglich zu gestalten, um die Anforderungen an die Höhenverstellung von 50 mm zu erfüllen und gleichzeitig sicherzustellen, dass die Armlehne eine Mindesthöhe von 200 mm über dem Sitzniveau einhalten kann.

4.3.3.1 Lochadapter

Der Lochadapter (siehe Abbildung 39) stellt das erste Bauteil in der Baugruppe "Horizontaler Verstellmechanismus" dar und dient gleichzeitig als Verbindungselement zur restlichen Armlehne. Er ist in zwei Hauptteile unterteilt: den unteren Teil, bestehend aus einer Platte und einem Quader, und den oberen Teil, der einen Block umfasst.

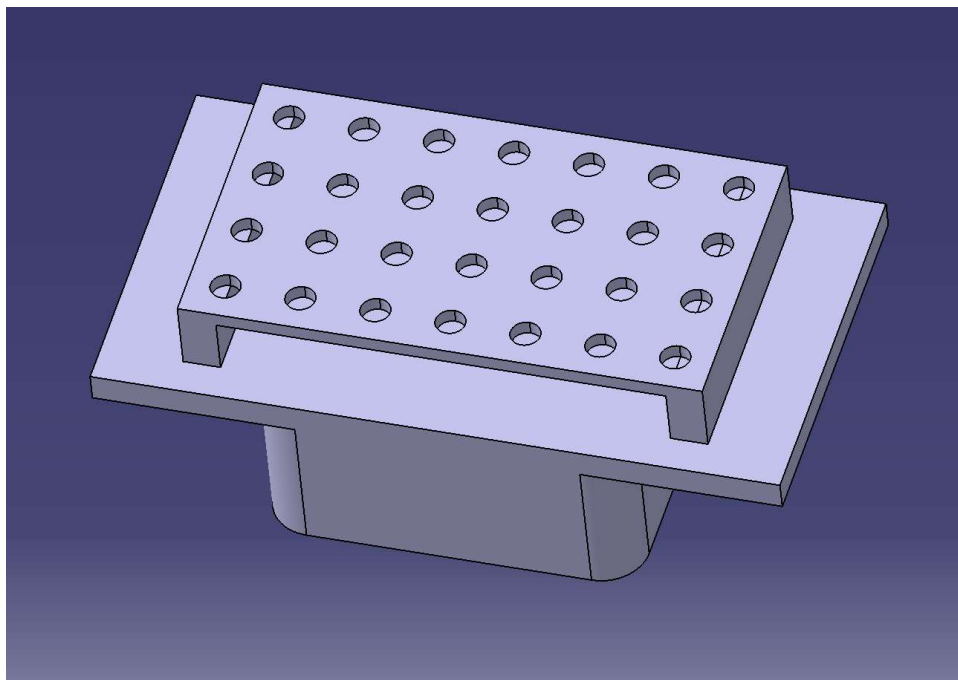


Abbildung 39: Lochadapter

Um den Lochadapter mit der restlichen Armlehne zu verbinden, wurde der Quader im unteren Teil in ein Vierkantrohr mit einer Wandstärke von 5 mm umgeformt. Zudem wurden zwei Gewindebohrungen in diesen Quader eingeführt, um die Befestigung zu ermöglichen.

Der obere Teil des Lochadapters besteht aus einem Block, in den ein quadratisches Muster von Bohrungen eingefügt wurde. In diesen Block wurde eine mittlere Tasche integriert, um Platz für eine Führung zu schaffen. Diese Führung verhindert, dass die obere Platte sich um den Bolzen im Lochadapter drehen kann.

Der ursprüngliche Entwurf des Lochadapters wurde in der Werkstatt überprüft, und es wurde festgestellt, dass die geplante Fertigung nicht möglich ist. Aus diesem Grund wurde der Lochadapter in zwei separate Teile aufgeteilt: den "Adapter" und die "Lochplatte". Der Adapter

ermöglicht die Verbindung mit dem restlichen Armlehnen-Design, während die Lochplatte die eigentliche Verstellung der Armauflage ermöglicht.

Für die Verbindung dieser beiden Teile wurden zwei mögliche Methoden in Erwägung gezogen: Kleben bzw. Schweißen und Schraubenverbindung. Das Kleben könnte aufgrund der erforderlichen Modifikationen an der Modellierung und der möglichen Einwirkung von Scherkräften auf die Klebverbindung problematisch sein. Schweißen könnte zu Verzerrungen in den Bauteilen führen, insbesondere im Bereich der Bohrlöcher der Lochplatte, was die Funktionalität des Verstellmechanismus beeinträchtigen könnte. Daher wurde die Schraubenverbindung als die geeignetere Option ausgewählt.

Die Schraubenverbindung besteht aus vier Schrauben, die von unten durch profilgesenkte Durchgangsbohrungen im Adapter in die Lochplatte eingeführt werden. Die Profilsenkung dient dazu, das Verletzungsrisiko an der Armlehne zu minimieren.

4.3.3.2 Lochplatte

Die Lochplatte (siehe Abbildung 40) ist ein Schlüsselbauteil in der Konstruktion und besteht aus einer Platte mit Bohrungen in einem rechteckigen Muster. An beiden kurzen Seiten der Platte befinden sich Stützen, in denen jeweils zwei Gewindebohrungen vom Typ M3 eingefügt sind. Die Auswahl der Plattendicke wurde so getroffen, dass sie möglichst flach ist, um die Montage der Führung unter der Platte in den Stützen zu ermöglichen. Gleichzeitig wurde darauf geachtet, dass die Fläche zur Kraftübertragung zwischen dem Bolzen und den Bohrungen ausreichend groß ist.

In die Bohrungen der Platte wurden 0,5x 45° Fasen eingefügt, um den Bolzen beim Einrasten besser zu zentrieren und einen reibungslosen Vorgang zu gewährleisten. Die Kanten der Stützen wurden abgerundet, um in die Nuten des Adapters zu passen. Dies ermöglicht eine bessere Montage der Lochplatte auf dem Adapter und sorgt zusätzlich zur Schraubenverbindung für einen Formschluss.

Um die Führung auf der Lochplatte zu montieren, wurden Langlöcher in die beiden Stützen eingefügt. Ursprünglich wurde die Führung mit Schrauben in diesen Langlöchern befestigt, sodass sie entlang der Außenseite der Lochplatte gleiten konnte. Später wurde festgestellt, dass dies aufgrund der Bauweise der Führung nicht notwendig war. Daher wurden die Langlöcher durch Profilgesenkte Durchgangsbohrungen ersetzt.

Die Lochplatte ist ein symmetrisches Bauteil und auf beiden Seiten identisch ist, was die Montage und den Einsatz in der Armlehne erleichtert.

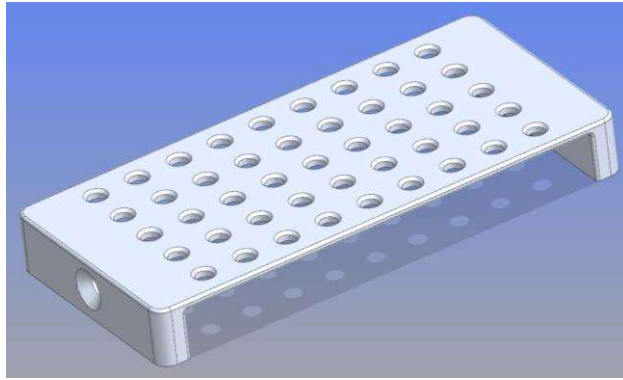


Abbildung 40: Lochplatte

4.3.3.3 Adapter

Der Adapter (siehe Abbildung 41) wurde weiterentwickelt, durch das Einfügen von zwei Ausschnitten mit jeweils zwei Durchgangsbohrungen, um die Lochplatte mit dem Adapter verbinden zu können. Es wird ein dritter mittiger Ausschnitt eingefügt, damit die Führung unter der Lochplatte mehr Platz zur Verfügung hat.

Die äußeren Kanten der Adapterplatte sowie des daran angebrachten Quadrats wurden abgerundet. Dies dient dazu, das Verletzungsrisiko beim Umgang mit dem Adapter zu minimieren und gleichzeitig die Montage des Quadrats in das Vierkantrohr zu erleichtern. Das Vierkantrohr wird für die Höhenverstellung verwendet und ist ein handelsübliches Kaufteil, das nur in bestimmten Größen erhältlich ist. Die Anpassung der Länge und Breite des Adapters an das Vierkantrohr wurde vorgenommen, um eine sichere Verbindung herzustellen.

Gewindebohrungen wurden auf der Vorder- und Rückseite des Adapters eingefügt, um die Verbindung mit dem Vierkantrohr zu sichern. Eine weitere Verbesserung des Adapters bestand darin, die Ausschnitte zu kombinieren, was einen größeren Verstellbereich der Armauflage in der Tiefe ermöglicht. In der durchgehenden mittleren Tasche wird Gleitklebeband aufgetragen, um das Gleiten der Führung auf dem Adapter zu verbessern und einen reibungslosen Betrieb zu gewährleisten.

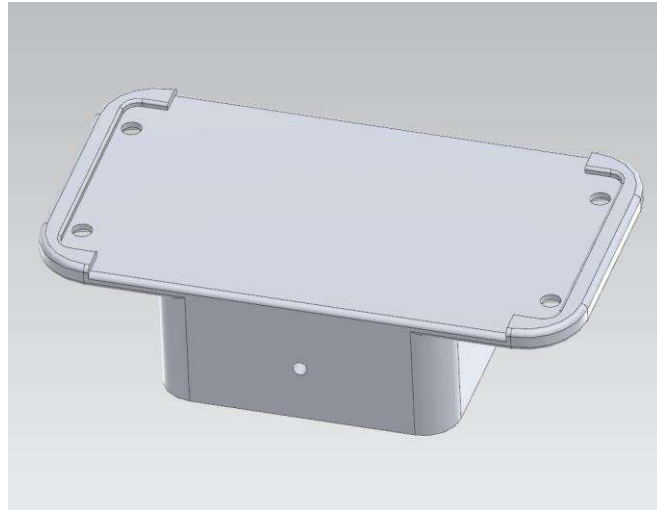


Abbildung 41: Adapter

4.3.3.4 Führung

Die Funktion der Führung (siehe Abbildung 42), die das Verdrehen des Mechanismus verhindert, wird durch drei Hauptbauteile realisiert. Das erste Bauteil ist die Längsstrebe, die fest mit der Lochplatte verschraubt ist. Das zweite Bauteil ist die Querstrebe, die mit der oberen Platte verschraubt wird. Das dritte Bauteil ist das Führungskreuz, das sicherstellt, dass die beiden Streben immer in einem 90-Grad-Winkel zueinander ausgerichtet sind.

Die Längsstrebe besteht aus einem Block. Auf beiden kurzen Seiten der Längsstrebe werden Sacklochbohrungen eingefügt, um die Befestigung an der Lochplatte zu ermöglichen.

Die Querstrebe ist ein Block mit einer Tasche, die sich in der Mitte befindet, sowie zwei Durchgangsbohrungen. Die Bohrungen dienen dazu, die Querstrebe mit der oberen Platte zu verbinden. In der finalen Version wurde eine Schräge auf jeder Seite eingefügt für mehr Steifigkeit.

Das Führungskreuz ist ein Block mit zwei Ausschnitten oben und unten, die um 90 Grad gegeneinander verdreht sind. Dieses Führungskreuz ermöglicht die Ausrichtung der beiden Streben zueinander. Die Montage erfolgt in der Weise, dass die Querstrebe unterhalb des Führungskreuzes platziert wird, und dann wird die Längsstrebe auf das Führungskreuz gesetzt.

Durch dieses Design und die Interaktion der drei Bauteile wird sichergestellt, dass die Armauf-
lage stabil bleibt und nicht unerwünscht verdreht wird, während sie in der Horizontalen verstellt wird.

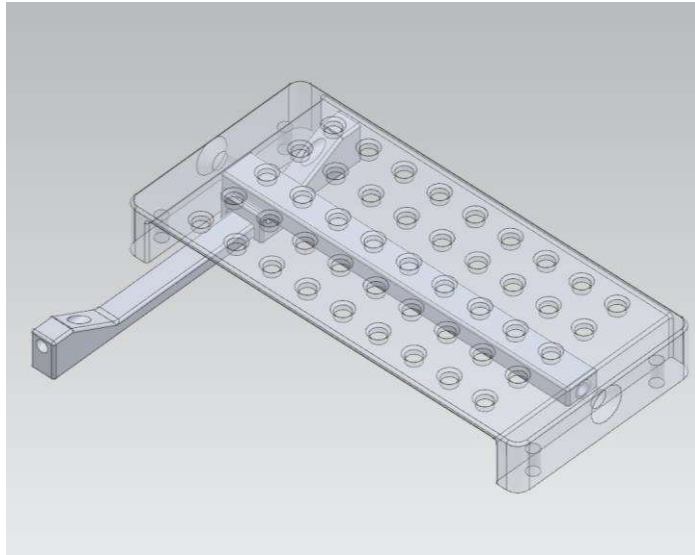


Abbildung 42: Führung

4.3.3.5 Verschiebeplatte

Die Verschiebeplatte (siehe Abbildung 43) hat mehrere wichtige Funktionen, darunter die Aufnahme des Entsperr-mechanismus, der Controllerhalterung und die Begrenzung der Tiefen- und Seitenverstellung. Die Konstruktion dieses Bauteils wurde schrittweise durchgeführt.

Zu Beginn wurden zwei Quader als Schalenelemente erstellt: ein großer und ein kleiner. Der kleine Quader diente als Begrenzung für die Tiefen- und Seitenverstellung und hatte eine definierte Wandstärke. Er erstreckte sich bis zur Platte des Adapters.

Um die Controllerhalterung aufnehmen zu können, wurde eine Tasche in die kurze Seite der Verschiebeplatte eingefügt. Eine Bohrung für den Bolzen, der den horizontalen Verstellmechanismus entsperrt, wurde zentriert in die Mitte der Platte gesetzt. Um diese Bohrung herum wurde eine Aufnahme für den Verschiebeblock und den Verstellknopf modelliert. Diese Aufnahme umschloss die Komponenten mit einer Öffnung zu einer Seite hin. Ein Bogen wurde genau an den Verstellknopf angepasst. Aufgrund der Höhe des Knopfes musste eine Tasche in die Aufnahme eingefügt werden, die von der Öffnung bis vor die Bohrung verlief.

Im Verlauf der Modellierung wurden zahlreiche Veränderungen an der Verschiebeplatte vorgenommen, insbesondere in Bezug auf die Interaktion mit der oberen Platte, die den Entsperrmechanismus abdeckt. Einige dieser Veränderungen beinhalteten die Reduzierung von Extrusionen, da an bestimmten Stellen kein Seitenhalt erforderlich war. Zwei Säulen wurden hinzugefügt, an denen Zugfedern befestigt werden sollen, um den Verstellknopf in seine Ausgangsposition zurückzuführen, nachdem der Knopf losgelassen wurde. Die Extrusion, an der der Verschiebeblock anlag, wurde zunächst entfernt und später durch eine Extrusion von der oberen Platte ersetzt, um Material zu sparen. Der Bogen über dem Verstellknopf sollte

ursprünglich einen Formschluss zwischen der Verschiebeplatte und der oberen Platte herstellen, um die Platten besser verschrauben zu können. Allerdings wurde dieser Bogen später umgekehrt und die Öffnung verbreitert, um die Fertigung zu erleichtern. Schließlich wurde die Öffnung genau an den Knopf angepasst. Der Formschluss wurde auf der gegenüberliegenden Seite realisiert, zuerst über eine Tasche und dann über eine Extrusion mit der gleichen Höhe wie die Elemente in der Aufnahme.

Um die Verschiebeplatte mit der oberen Platte zu verbinden, wurden vier Profilgesenkte Durchgangsbohrungen in einem rechteckigen Muster hinzugefügt.

Durch diese Änderungen konnte Material eingespart und die Größe des Blocks, aus dem die obere Platte gefertigt wurde, reduziert werden. Dies ermöglichte eine effizientere Fertigung und Montage der Armlehne.

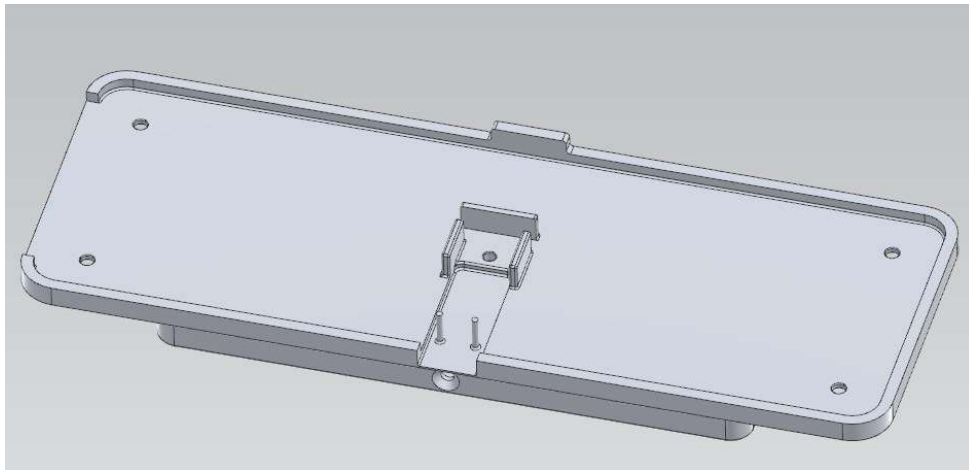


Abbildung 43: Verschiebeplatte

4.3.3.6 Obere Platte

Die obere Platte (siehe Abbildung 44), ein Quader als Schalelement ausgeführt, fungiert als entscheidendes Bauteil, das die Verschiebeplatte abdeckt und verschiedene Funktionen erfüllt. Die Konstruktion der oberen Platte umfasst mehrere Schritte und Modifikationen:

Ursprünglich wurden zahlreiche Extrusionen in der oberen Platte platziert, darunter eine mittige Extrusion über der Aufnahme des Verschiebeblocks, die als Abstützung für diesen diente. Eine weitere Extrusion sollte das Herausziehen des Verstellknopfes verhindern. Zwei Zylinder wurden extrudiert, um zu verhindern, dass die Zugfedern von den Zylindern auf der Verschiebeplatte abrutschen. Auf der Seite über dem Bogen der Verschiebeplatte wurde eine Wand hinzugefügt, die den Bogen umschloss. Außerdem wurde ein Quader auf der Seite der Controllerhalterung extrudiert, um die Halterung auf die Verschiebeplatte zu drücken. Schließlich

wurde ein Zylinder im Zentrum mittig extrudiert, um als Führung für die Druckfeder zu dienen, die den Verschiebblock in die Lochplatte drückt.

Im Verlauf der Weiterentwicklung wurden folgende Verbesserungen an der oberen Platte vorgenommen:

- Die Extrusion, die das Herausziehen des Verstellknopfes verhindern sollte, wurde entfernt, da die Zugfedern bereits ein ungewolltes Herausziehen verhindern.
- Die Extrusion, die als Abstützung für den Verschiebblock diente, wurde auf die Verschiebeplatte positioniert, um eine bessere Stabilität und Unterstützung zu gewährleisten.
- Die Öffnung in der oberen Platte wurde zweimal überarbeitet, um Material zu sparen und die Fertigung zu vereinfachen. Dies könnte die Herstellung effizienter gestalten.
- Die Verstrebungen zu den Bohrungen werden ersetzt durch eine höhere Wandstärke, wodurch die Konstruktion robuster wurde und gleichzeitig die Fertigung erleichtert wurde.

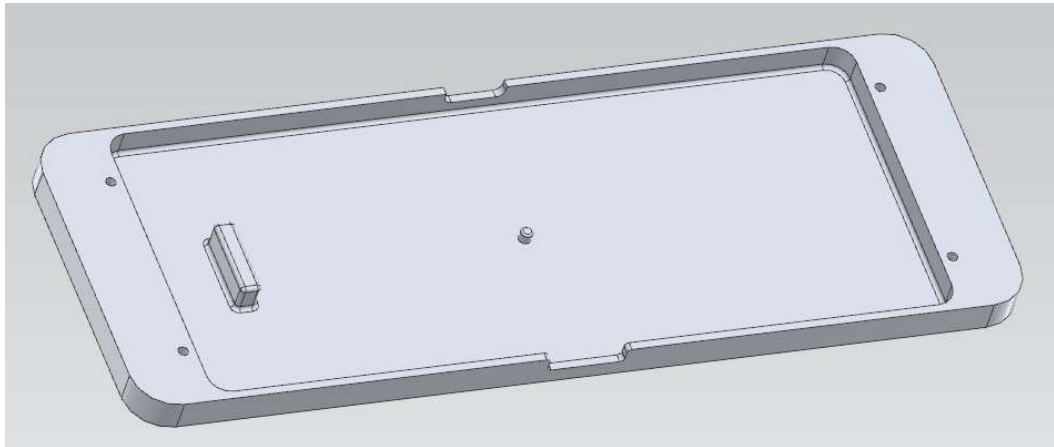


Abbildung 44: obere Platte

4.3.3.7 Verschiebblock

Der Verschiebblock setzt sich aus zwei Hauptkomponenten zusammen: einem Bolzen, der in die Lochplatte eingreift, und einem Quader. Die Konstruktion des Verschiebblocks sieht wie folgt aus:

- **Der Bolzen:** Er befindet sich zentriert und mittig an einer Seite des Quaders. Um ein einfacheres Einrasten zu ermöglichen, wurde der Bolzen mit einer Phase versehen, die das Einführen erleichtert.
- **Die Taschen im Quader:** Im Quader des Verschiebblocks wurden zwei Taschen eingefügt. Diese Taschen weisen eine Schräge von 14 Grad auf.
- **Das Sackloch:** Auf der gegenüberliegenden Seite des Bolzens wurde ein Sackloch hinzugefügt. Dieses Sackloch dient als Führung für die Druckfeder und trägt dazu bei, den Verschiebblock in die richtige Position zu bringen.

Um sicherzustellen, dass die Wandstärke zwischen dem Beginn des Bolzens und dem Boden der Bohrung nicht zu dünn ist, wurde die Höhe des Quaders entsprechend angepasst.

Insgesamt stellt dieser Verschiebblock (siehe Abbildung 45 und 46) einen wesentlichen Bestandteil des horizontalen Verstellmechanismus dar, der die Bewegung der Armauflage ermöglicht.

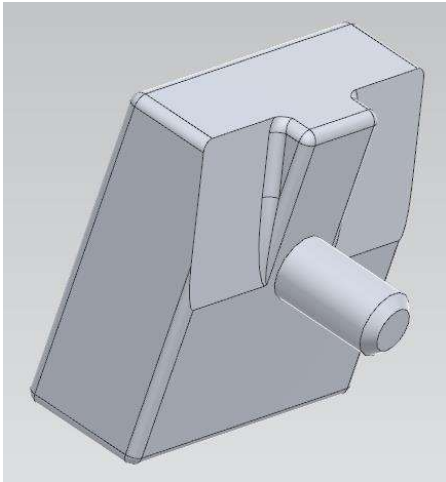


Abbildung 45: Verschiebblock unten

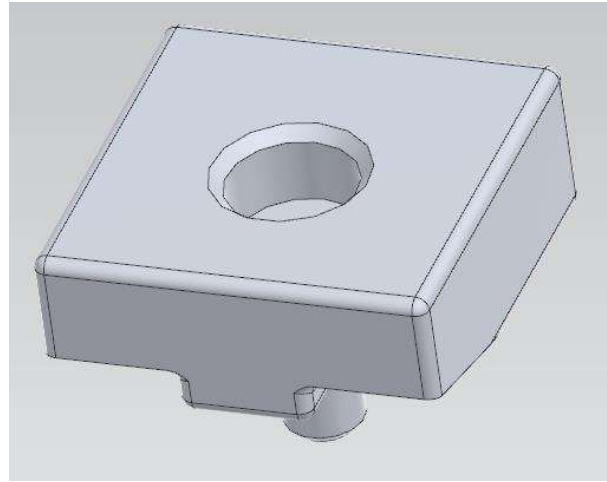


Abbildung 46: Verschiebblock oben

4.3.3.8 Verstellknopf

Mit dem Verstellknopf kann die Armauflage verstellt werden, das erfolgt durch das Anheben des Verschiebblocks über zwei Keile. Der Keil des Verstellknopfes greift in den Keil des Verschiebblocks. Wenn der Verstellknopf gedrückt wird wandelt sich die translatorische Bewegung des Knopfes in vertikale Verschiebung des Verschiebblocks um.

Die Modellierung des Verstellknopfes (siehe Abbildung 47) erfolgt in zwei Bauteilen ein Quader mit verrundeten Kanten und ein elliptisch geformter Zylinder und ein Quader mit zwei keilförmigen Extrusionen. Der elliptisch geformte Zylinder ist mittig am Quader platziert, um eine gleichmäßige Kraftverteilung auf die beiden Keile zu übertragen. Die spezifische Modellierung von zwei Keilen mit einer Tasche in der Mitte wurde gewählt um den Verschiebblock auf die Keile setzen zu können, ohne durch den Bolzen blockiert zu werden und eine gleichmäßige Kraftverteilung auf den beiden Keilflächen zu haben. Die beiden Bauteile werden mit einer Schraubenverbindung verbunden.

Folgende Veränderungen werden an der Baugruppe (siehe Abbildung 48) durchgeführt:

- Die elliptischen Zylinder wurden im Sinne einer leichteren Fertigung in runde Zylinder geändert für eine leichtere Fertigung.
- Es werden zwei Haken auf der rechten und linken des Zylinders vom Verschiebekeil gesetzt, um die Zugfeder zu befestigen.

- Die zwei Teile werden in drei Teile aufgeteilt. In Knopf, Verschiebekeil und Stange. Die Auftrennung ermöglicht die Fertigung mit den hinzugefügten Haken.
- An die Stange werden zwei Außengewinde hinzugefügt.
- Die anderen beiden Bauteile erhalten jeweils ein Innengewinde.
- Es ist nicht notwendig die Keile spitz zulaufen zu lassen, daher wird der Keil leicht verkürzt, um die Fertigung weiter zu vereinfachen.
- Der Verschiebekeil ist so ausgelegt das es unabhängig von der Position die beiden Keilflächen eine Auflagefläche vorhanden ist. Dies ermöglicht ein gleichmäßiges Verschieben ohne verkanten.

Zusätzlich wird auf den Keilflächen des Verschiebekeils Gleitklebeband aufgeklebt, um den Reibungskoeffizienten zu verringern.

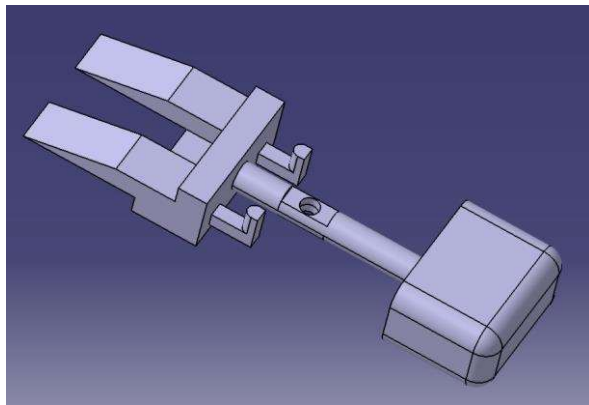


Abbildung 47: erste Version Verstellknopf

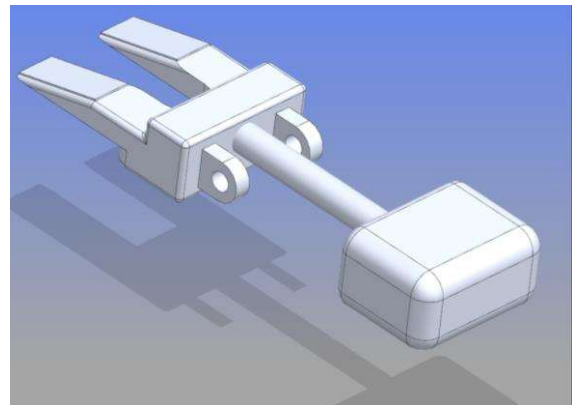


Abbildung 48: letzte Version Verstellknopf

4.3.4 Vertikaler Verstellmechanismus

Der Mechanismus zur Höheneinstellung, bestehend aus zwei Vierkantrohren und einem Rastbolzen, ermöglicht die Anpassung der Höhe der Armauflage. Der Mechanismus besteht aus den folgenden Punkten:

- Der Höheneinstellmechanismus besteht aus zwei Vierkantrohren, von denen eines horizontal und das andere um 90 Grad gedreht ist.
- Im horizontalen Vierkantrohr ist ein Ausschnitt eingefügt, der so gestaltet ist, dass das um 90 Grad gedrehte Vierkantrohr hineinpasst.
- Die Verbindung zwischen den beiden Vierkantrohren erfolgt durch einen Rastbolzen. Dieser Bolzen wird in das horizontale Vierkantrohr geschraubt und verankert die beiden Vierkantrohre miteinander.
- Der Rastbolzen ist mit einem beweglichen Bolzen ausgestattet, der durch eine Feder in die Ausgangsposition gedrückt wird.

- Das um 90 Grad gedrehte Vierkantrrohr verfügt über Bohrungen, in die der bewegliche Bolzen des Rastbolzens eingreifen kann.
- Wenn der Bolzen herausgezogen wird, kann die Höhe der Armauflage eingestellt werden.

4.3.4.1 Horizontales Vierkantrrohr

Die Fertigung des Bauteils erfolgt aus einem standardisierten 80x80 mm Vierkantrrohr, das käuflich erworben wird. An diesem Rohr werden folgende Modifikationen (siehe Abbildung 49) durchgeführt:

- Profilgesenkte Durchgangsbohrungen: Es werden zwei Profilgesenkte Durchgangsbohrungen in das Vierkantrrohr eingebracht. Diese Bohrungen dienen dazu, das Vierkantrrohr mit dem Adapter zum Rexrothprofil zu verbinden.
- Bohrungen für den Rastbolzen: Bohrungen werden in das Vierkantrrohr eingebracht, um den Rastbolzen des Höheneinstellmechanismus aufzunehmen.
- Ausschnitt für das zweite Vierkantrrohr: Ein Ausschnitt wird in das Vierkantrrohr geschnitten, um Platz für das zweite, um 90 Grad gedrehte Vierkantrrohr zu schaffen. Dieser Ausschnitt ist so gestaltet, dass das zweite Vierkantrrohr darin sicher und stabil sitzt.

Zusätzlich werden im Ausschnitt des zweiten Vierkantrrohrs acht 1 mm dicke Streifen aus PE500, einem Kunststoff mit ausgezeichneten Gleiteigenschaften, angebracht. Diese Streifen dienen dazu, die Reibung zu minimieren und eine reibungslose Bewegung des Höheneinstellmechanismus zu gewährleisten. Die genaue Passung der Streifen muss durch einen iterativen Prozess an der gefertigten Armlehne durchgeführt werden.

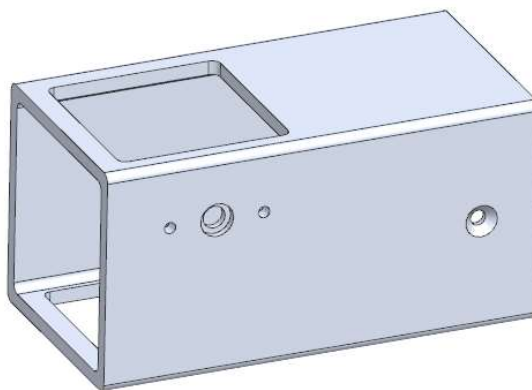


Abbildung 49: Horizontales Vierkantrrohr

4.3.4.2 Vertikales Vierkantrrohr

Das Bauteil wird aus einem erworbenen 60x60mm Vierkantrrohr gefertigt und weist spezifische Modifikationen (siehe Abbildung 51) auf:

- Bohrungen für die Höheneinstellung: In das Vierkantrohr werden fünf Bohrungen eingefügt, die einen Abstand von 1,5 cm voneinander haben. Diese Bohrungen sind so gestaltet, dass sie das Einrasten des Mechanismus erleichtern. Hierbei wird eine Fase hinzugefügt, um das reibungslose Einrasten zu ermöglichen.
- Durchgangsbohrung für den Höhenbegrenzer: An einem Ende des Vierkantrohrs wird eine Durchgangsbohrung eingebracht. Diese Bohrung ermöglicht die Montage eines Höhenbegrenzers am Vierkantrohr. Der Höhenbegrenzer (siehe Abbildung 50) hat die Aufgabe sicherzustellen, dass das Rohr nicht aus dem anderen Rohr herausgezogen werden.

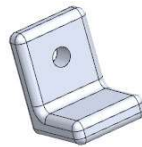


Abbildung 50: Höhenbegrenzer

- Profilgesenkte Durchgangsbohrungen: Auf gegenüberliegenden Seiten des Vierkantrohrs werden zwei Profilgesenkte Durchgangsbohrungen eingefügt. Diese Bohrungen dienen der Verbindung mit dem horizontalen Verstellmechanismus.

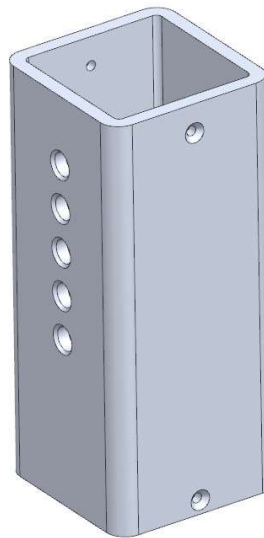


Abbildung 51: Vierkantrohr Vertikal

4.3.4.3 Verbindung zur Bodenplatte

Der vertikale Verstellmechanismus wird mithilfe von Standardkomponenten von Rexroth (siehe Abbildung 52) mit der Bodenplatte verbunden. Dabei kommen zwei Strebenprofile mit den Maßen 80x80 mm und den Längen 475 mm und 515 mm zum Einsatz. Das kürzere Strebenprofil liegt horizontal auf dem längeren Strebenprofil. Beide Profile werden über einen Rexroth-Winkel miteinander verbunden, der auf der gegenüberliegenden Seite des Sitzes

angebracht wird. Dies hat zur Folge, dass der Hebelarm verkürzt wird und die Hauptkraft nicht mehr auf den Winkel, sondern auf das vertikale Strebenprofil wirkt.

Die Verbindung zwischen den Strebenprofilen und der Bodenplatte wird mithilfe einer Fußplatte von Rexroth aus Stahl mit den Abmessungen 80x80 mm realisiert. Alle eingesetzten Komponenten für diese Verbindung sind genormte Teile und somit miteinander kompatibel, wodurch keine weiteren Anpassungen erforderlich sind.

Die Montage erfolgt über Hammerschrauben, die in die Strebenprofile eingebracht werden und anschließend mit Bundmuttern gesichert werden. Die Fußplatte verfügt über M8-Durchgangsbohrungen, die jedoch über Bundbuchsen auf M6 verkleinert werden, um die Montage zu erleichtern. Dies geschieht, da die Bundmuttern, die in den Strebenprofilen verwendet werden, ein Gewinde in der Größe M6 aufweisen.

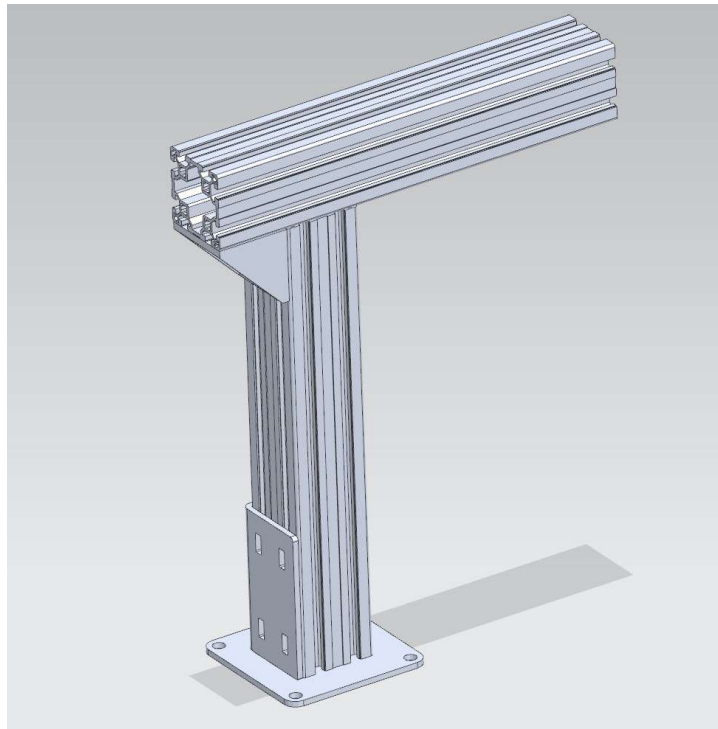


Abbildung 52: Verbindung zur Bodenplatte

4.3.5 Bodenplatte

Die Bodenplatte (siehe Abbildung 53) hat die Aufgabe, die restliche Armlehne mit den beiden Airlineschienen zu verbinden. In einem Bereich neben der Fußplatte wird die Dicke der Platte von 10 mm auf 2 mm reduziert, um eine angenehme Fußauflage zu gewährleisten. Die Platte wird als Schalenelement gestaltet, um Gewicht einzusparen.

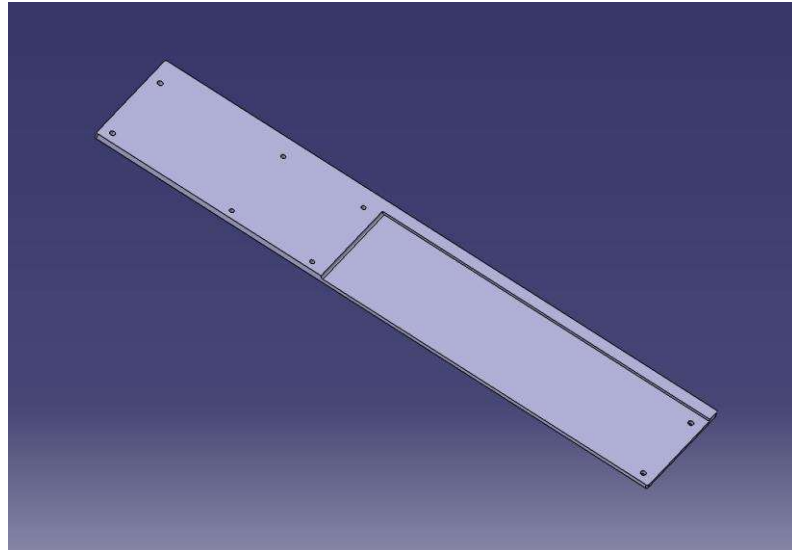


Abbildung 53: Fußplatte

4.3.6 Verbindung Airlineschiene

Die Verbindung der Fußplatte mit den Airlineschienen wird über Seat Track Fittings realisiert. Es sind unterschiedliche Fittings verfügbar für diesen Fall werden zwei unterschiedliche Fittings verwendet [Anhang 2].

4.3.7 Polster

Das Polster für die Armauflage wird auf der oberen Platte verklebt. Dabei handelt es sich um ein Kaufteil, dass auf der Website www.kissennachmasskaufen.de bestellt wird

4.3.8 Controller Halterung

Der Controller wird auf einem Kaufteil befestigt, das auf Amazon bestellt wird. Die Controller Halterung (siehe Abbildung 54) wird zwischen die Verschiebepatte und obere Platte geschoben und mit zwei Schrauben gesichert. Dafür werden zwei weitere Bohrungen in Platte der Halterung eingefügt.

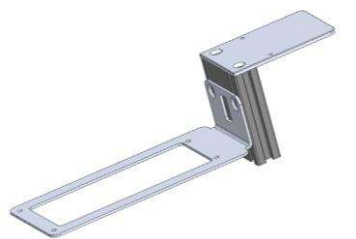


Abbildung 54: Controller Halterung

4.4 Zusammenbau Armlehne

Durch die Montage der zuvor beschriebenen Bauteile entsteht das vollständige CAD-Modell, wie in Abbildung 55 dargestellt. Der Rastbolzen für die Höheneinstellung wird in Richtung der Rückenlehne herausgezogen. Auf dieser Seite gibt es ausreichend Platz und wird nicht von der Controllerhalterung eingeschränkt. Der Knopf zur horizontalen Verstellung ist zum Nutzer hin ausgerichtet. Wenn die Armlehne gegriffen wird, liegt der Daumen direkt auf dem Knopf.

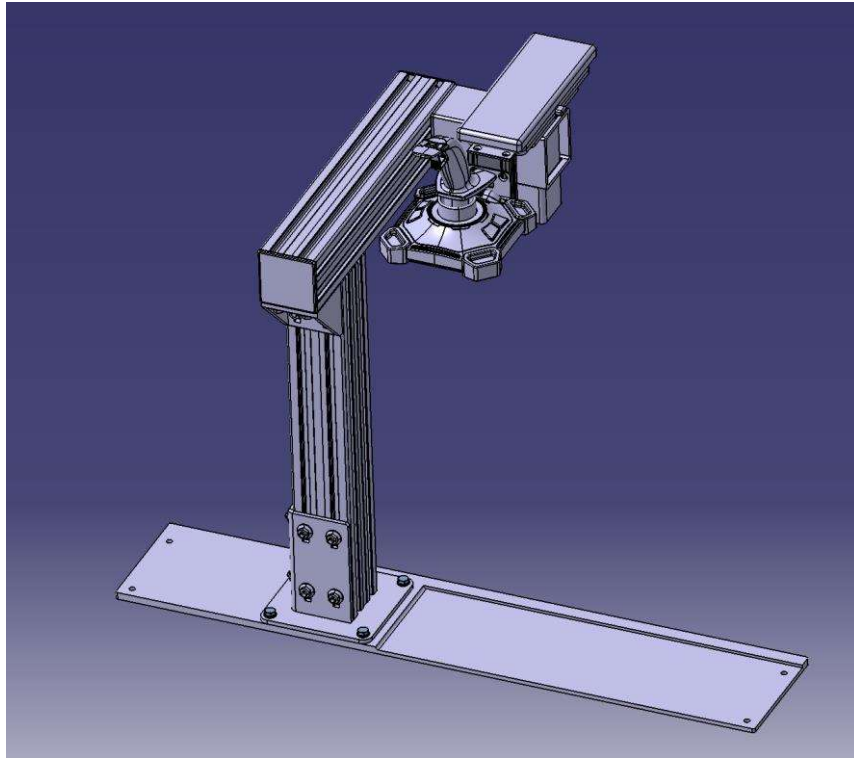


Abbildung 55: Armlehne

Weitere Optimierungen an dem Modell werden anhand der Belastungsanalyse durchgeführt.

4.5 Durchführung einer Belastungsanalyse

Im folgenden Kapitel wird eine FE-Analyse mit der Software Ansys Workbench am erstellten Modell durchgeführt. Im Betrieb der Armlehne können große Belastungen auftreten, vor allem wenn die Bewegungsplattform versagt und „abstürzt“. Die Verschiebung und Kräfte, die auf das Material wirken, sollen in einer FE-Analyse überprüft werden. Es werden vor allem zwei Szenarien betrachtet, die Belastung bei der allgemeinen Benutzung und der Notfall. Bei der allgemeinen Benutzung wird darauf geachtet, dass die Verschiebungen im Modell nicht zu groß werden und sich die Armlehne stabil anfühlt. Im Notfall werden die Spannungen, die in den Bauteilen auftreten betrachtet, um ein strukturelles Versagen der Armlehne auch im Fehlerfall auszuschließen. Die Verschiebung ist weniger relevant, da der Versuch abgebrochen wird. Die Kräfte, die für das Notfall eingesetzt werden, stammen aus der Anforderungsliste.

4.5.1 Einfügen und Vernetzen des CAD-Modells

Das CAD-Modell kann ohne Zwischenschritte in Ansys Workbench eingefügt werden. In Ansys werden die Geometriedaten des CAD-Modells mit der statisch-mechanischen Analyse verknüpft und Ansys Mechanical kann gestartet werden. In der Umgebung findet die Vernetzung des Modelles statt, sowie das Einfügen der Kräfte, Lagerungen und Materialeigenschaften.

Das CAD-Modell wird für die Vernetzung vereinfacht, um eine bessere Netzqualität zu erhalten und die Rechenzeit der Analyse zu verringern. Außerdem wird das Modell stabiler und es treten bei der Berechnung des FE-Modells keine Fehler auf. Bestimmte Feature wie zum Beispiel Bohrungen und Verrundungen mit Radien unter 3 mm werden entfernt, da sie die Strukturellen Eigenschaften kaum verändern. Schrauben und andere Verbindungselemente werden durch Kontakte ersetzt. In der Analyse wird die Armlehne im Gesamten betrachtet, nur Bauteile, die nicht Strukturell relevant sind werden entfernt.

Ein Körper besteht aus einer quasi-infiniten Anzahl an Elementen. Die Vernetzung der FEM schafft es den Körper in eine finite Anzahl an Elementen zu verwandeln und dadurch die Berechnung zu vereinfachen. Bei der Vernetzung werden die Körper in kleine geometrisch einfache Formen aufgeteilt zum Beispiel Quader oder Tetraeder. Die Elemente sind an den Knoten miteinander verbunden. Die Anzahl der Knoten bestimmt die Aussagekraft, die Dauer und die benötigten Ressourcen (Arbeitsspeicher, Festplattenspeicher, etc) der durchzuführenden Analyse.

Die Elementqualität beschreibt den Grad, mit denen sich die einzelnen Elemente verändern müssen, um das Bauteil genau abzubilden. Je näher das Element an einem idealen Dreieck

oder Viereck liegt, desto höher ist die Qualität des Netzes. Ein weiterer Hebel, mit dem die Rechenzeit verkürzt und die Genauigkeit des Ergebnisses verbessert wird.

Bei der Erstellung des Netzes wird versucht einen optimalen Kompromiss zwischen Analysezeit und Genauigkeit der Ergebnisse zu finden. Dafür wurden bei der Netzerstellung die Bauteile, in denen weniger Belastung und Verformung auftritt mit einem gröberen Netz versehen.

Für die Netzerstellung müssen zwei Eigenschaften vorher festgelegt werden, die Methode, mit der das Netz erstellt werden soll und die Elementgröße. Beide können automatisch von Ansys festgelegt oder manuell eingestellt werden. Das Vorgehen bei der Festlegung der Methoden war es, wenn möglich die Multizone Methode zu benutzen. In der Methode versucht das Programm die Geometrie in einfache Formen wie zum Beispiel in Zylinder und Quader zu trennen, um sie anschließend mit der Sweep-Methode zu vernetzen. Die Sweep-Methode erzeugt die Netze mit der höchsten Qualität und den wenigsten Knoten. Es kommt vor, dass aufgrund der Geometrie das Multizone verfahren nicht durchgeführt werden kann. In diesen Fällen wird die Automatische Methode ausgewählt. Die Bauteile, die am höchsten belastet sind, erhalten ein feineres Mesh.

4.5.2 Festlegen Kräfte, Lagerungen und Kontakte

Die Kräfte für den Notfall betragen 1330 N, das geht aus dem Dokument der EASA für Lasten in der Flugkabine hervor. Die Last wird von oben als Flächenlasten an der Armauflage eingeleitet (siehe Abbildung 56). Ein weiterer Lastfall ist die die unter normaler Belastung dazu wurden die Daten des AVES genommen die eine maximale Beschleunigung von 2G (siehe Anhang 2) hat und das Gewicht eines Arms. Das Gewicht des Armes ist etwa 6 % des Körpergewichts [52], als Körpergewicht wurden 100 kg angenommen höher als das Durchschnittsgewicht von 85 kg [53] in Deutschland. Die Kraft vom Arm allein sind 60 N diese werden durch Beschleunigung des AVES auf 120 N verdoppelt. Es ergibt sich eine Kraft von 120 N, die auf die gleiche Fläche wirken. In einem weiteren Versuch wird die Kraft an der Spitze der Armauflage eingeleitet, um zu überprüfen wie verdreh sicher die Armlehne ist.

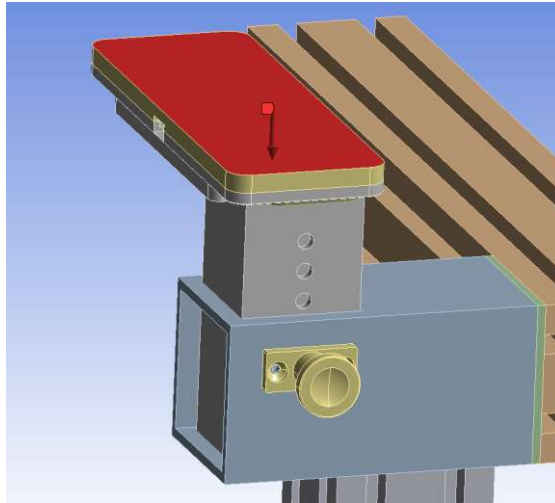


Abbildung 56: Angriffspunkt der Kraft

Die Lagerung des Modells erfolgt an den Bohrungen, die die Fußplatte mit den Airlineschienen verbindet.

Die Kontakte werden mit der automatischen Kontakterkennung von Ansys erstellt und teilweise durch reibungsbehaftete Kontakte ersetzt. Die Lochplatte reibt auf der Verschiebungsplatte und das vertikale Vierkant reibt an den Gleitpads im Horizontalen Vierkanthrohr.

4.5.3 Ergebnisse der FE-Analyse

In der ersten Analyse wird das Notfallszenario dargestellt. Es wirkt eine Kraft von 1330 N in vertikaler Richtung auf die Armauflage.

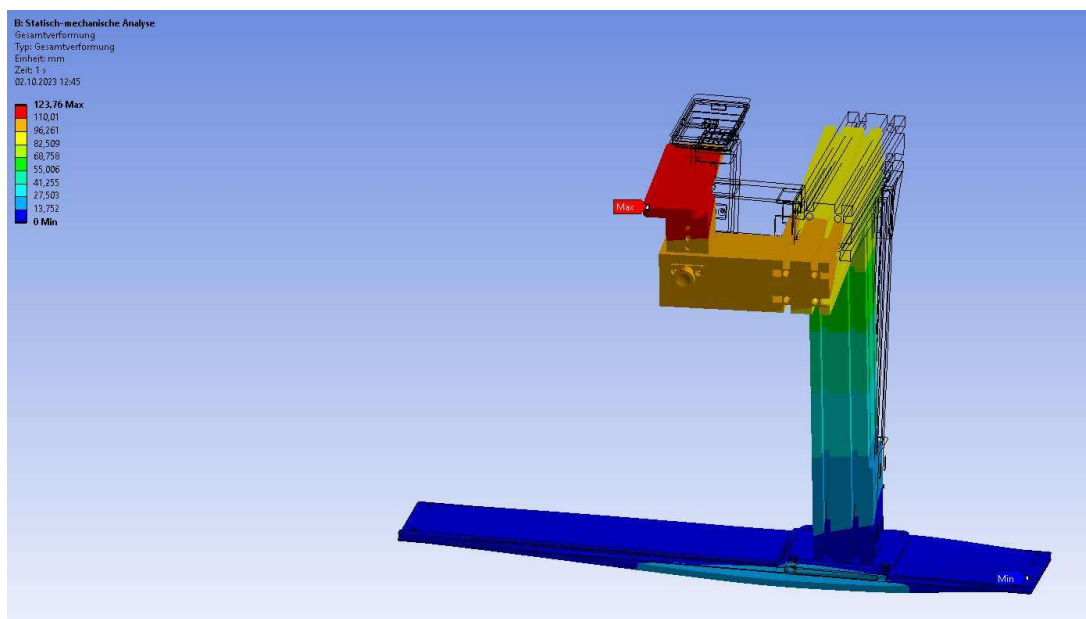


Abbildung 57: Verschiebung der Armlehne in mm

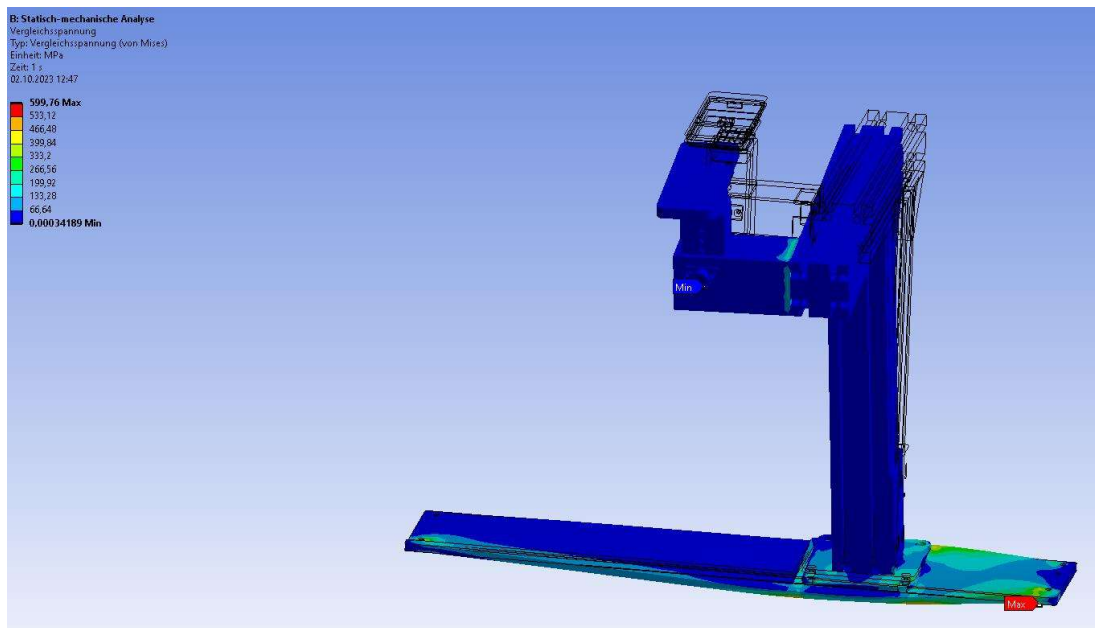


Abbildung 58: Spannung nach Mises in MPa

Die Ergebnisse zeigen eine Verschiebung von 123 mm (siehe Abbildung 57) und eine maximale Spannung von 600 MPa (siehe Abbildung 58). Die Spannung ist deutlich zu groß, da der eingesetzte Werkstoff eine Streckgrenze von 540 MPa [50] hat, der Werkstoff der Fußplatte würde versagen. Dadurch kann es zu Verletzungen beim Benutzer kommen. Die Verschiebung ist kritisch, sie deutet an, dass es bei geringeren Belastungen zu großen Verformungen kommen kann. Weitere Maßnahmen müssen durchgeführt werden, um beide Größen zu verringern.

Eine Maßnahme, um die Größen zu verringern, ist eine Stütze, die am vertikalen Balken angreift und die Kraft direkt zu den Airlineschienen leitet.

In das Modell werden drei Stützen (siehe Abbildung 49) eingefügt, die jeweils an einer unterschiedlichen Höhe am Balken angreifen. Für jede Stütze wird eine Simulation durchgeführt mit den ersten Simulation identischen Parametern, um zu bestimmen, welcher Angriffspunkt an der vertikalen Stütze optimal ist. Alle weiteren Simulationen werden mit den gleichen Parametern ausgeführt, wenn nicht anders beschrieben.

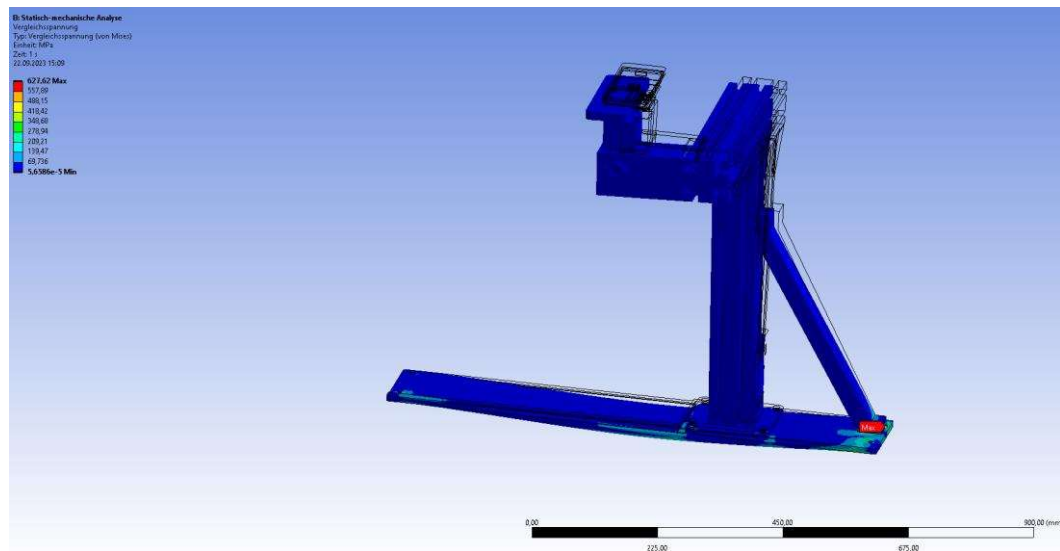


Abbildung 59: Spannung mit hoher Stütze

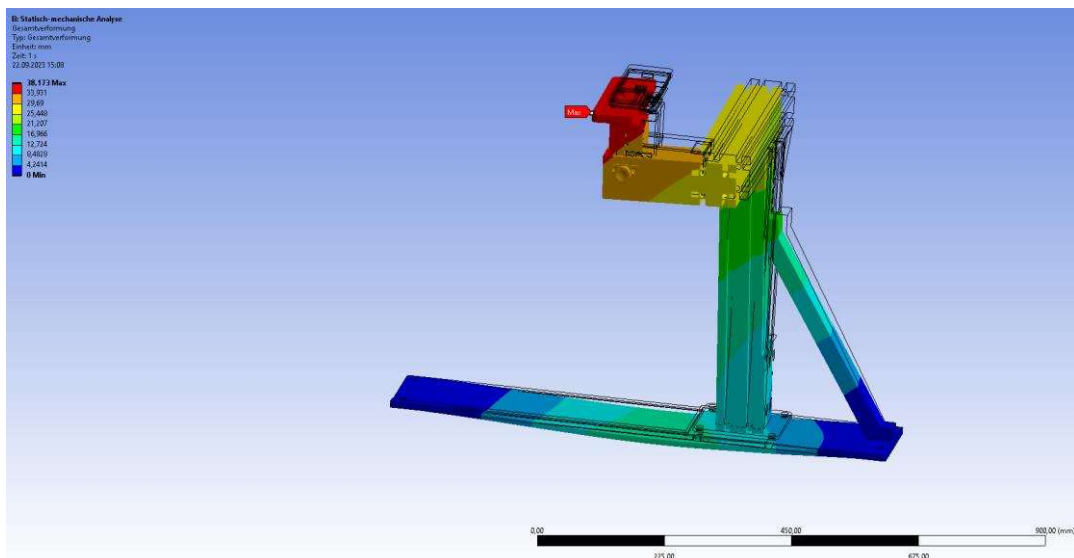


Abbildung 60: Verschiebung mit hoher Stütze

Die Ergebnisse aus den drei Simulationen werden in der Tabelle dargestellt.

Tabelle 10: Auswertung der FE-Analyse für den Angriffspunkt der Stütze

Berechnungsgröße	Stütze unten	Stütze mittig	Stütze oben
max. Vergleichsspannung [MPa]	535	594,8	627,6
max. Verschiebung [mm]	42	51	38,2

Die Verschiebung ist am niedrigsten bei der an der höchsten angreifenden Stütze (siehe Abbildung 60) mit 38,2 mm. Die niedrigste Spannung tritt bei der an der niedrigsten angreifenden Stütze auf. Wenn man von steifen Körpern ausgeht, sollten die Verschiebung geringer werden

desto weiter oben die Stütze angreift. Es handelt sich nicht um steife Körper. Die Stütze biegt sich durch die Belastung mit. Deshalb ist der untere Angriffspunkt gewählt, da das Verhältnis zwischen Spannung und Verschiebung am besten ist. Die Spannung ist mit 535 MPa zu hoch, es müssen weitere Optimierungen vorgenommen werden.

Die Fußplatte des Modells wird angepasst, sie wird als einfache Platte mit einer Dicke von 8 mm ausgeführt. Eine höhere Spannungsaufnahme der Platte erfolgt durch die einheitliche Dicke und das Entfernen des Schalenkörpers. Die Analyse erfolgt mit der veränderten Platte ohne Stütze, um den Einfluss des der Platte besser darstellen zu können.

Tabelle 11: Auswertung der FE-Analyse neue Fußplatte

Berechnungsgröße	Fußplatte alt	Fußplatte neu
max. Vergleichsspannung [MPa]	609	329
max. Verschiebung [mm]	166	40

Die maximale Spannung wird auf 329 MPa reduziert und liegt damit unter der Streckgrenze des eingesetzten Werkstoffes. Die Armlehne ist für diesen Lastfall ausreichend ausgelegt, eine Stütze wäre nicht notwendig.

An der Stütze wird weiter festgehalten, da es ein einfaches Teil ist, das effizient Verschiebungen in der Armlehne reduziert, durch die Verbreiterung des Auflagepunktes auf der Platte und der Verbindung der Stütze direkt mit der Airlineschiene über zwei Bohrungen sollte die Spannungen in der Stütze weiter reduzieren. Dies wurde im nächsten Versuch überprüft. Das Ergebnis ist eine Halbierung der Vergleichsspannung (siehe Abbildung 61 und 62)

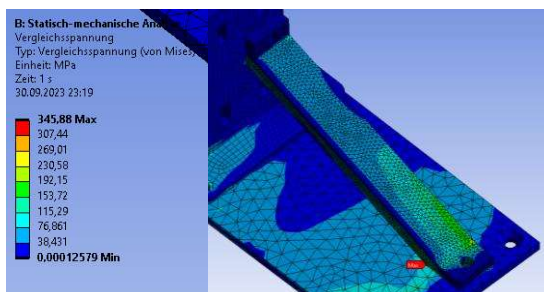


Abbildung 61: einfache Stütze

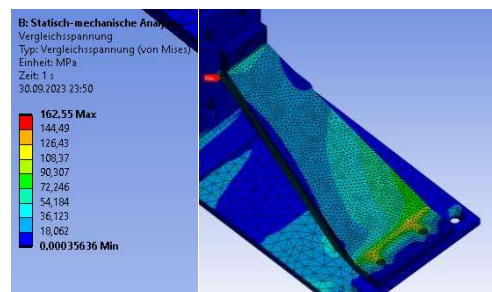


Abbildung 62: verbesserte Stütze

Im Folgenden werden die Belastungsszenarios, für die Lastszenarios im Notfall und im allgemeinen Gebrauch, durchgeführt. Die Lastfälle beinhalten das bisher Benutzte und die in den Abbildung 63 und 64 gezeigten.

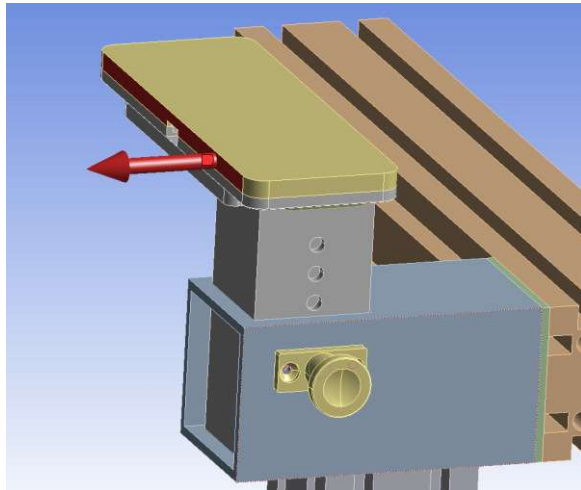


Abbildung 63: Kraft von Stütze weg

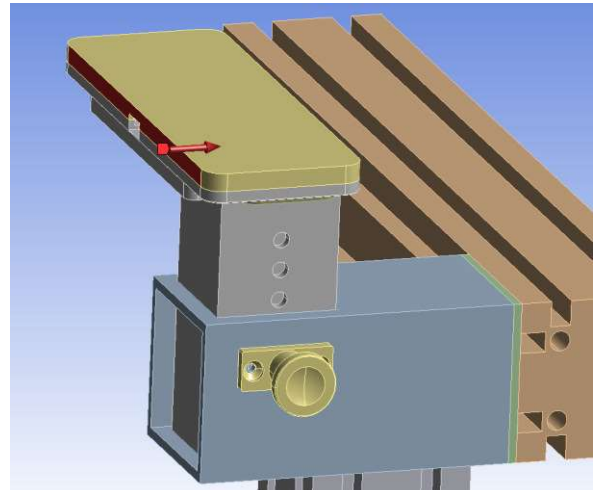


Abbildung 64: Kraft zur Stütze hin

**Tabelle 12: Auswertung der FE-Analyse mit Notfallbelastung 1330 N
aus verschiedenen Richtungen**

Berechnungsgröße	Kraft von oben	Kraft zur Stütze hin	Kraft von Stütze weg
max. Vergleichsspannung [MPa]	161,4	393,4	443,7

**Tabelle 13: Auswertung der FE-Analyse im Normalbetrieb 120 N
aus verschiedenen Richtungen**

Berechnungsgröße	Kraft von oben	Kraft zur Stütze hin	Kraft von Stütze weg
max. Verschiebung [mm]	0,82	1,20	1,20

In der Tabelle 12 der Notfallbelastungen werden nur die maximalen Vergleichsspannungen aufgeführt, da ausschließlich relevant ist, ob die Armlehne versagt. Die maximale Vergleichsspannung liegt bei 443,7 MPa und damit unter der Zugfestigkeit von eingesetzten Aluminium 7075 von 540 MPa.

In der Tabelle 13 des Normalbetriebs ist die maximale Verschiebung 1,2 mm sehr gering. Die Armlehne wird sich im Normalbetrieb nicht spürbar bewegen.

Im nächsten Schritt werden die Kräfte berechnet, mit denen die Schrauben vorgespannt werden müssen und wie sich die Kräfte in den Schrauben verhalten. Es erfolgt eine Anpassung des FE-Modells die Schrauben der kritischen Verbindungen werden eingefügt und die Teile der Verstellmechanismen wird entfernt, um die Simulation zu beschleunigen. Bei den Schraubenverbindungen muss der Kompromiss gefunden werden zwischen Anpressdruck und

Vorspannkraft der Schrauben. Ein hoher Anpressdruck verringert das Gleiten zwischen den Bauteilen. Eine hohe Vorspannkraft erhöht die Belastung auf die Schrauben. Die Simulation zeigt, dass es zu einer haftenden Verbindung zwischen den Bauteilen (siehe Abbildung 65) kommt bei einer Vorspannkraft von 20 kN.

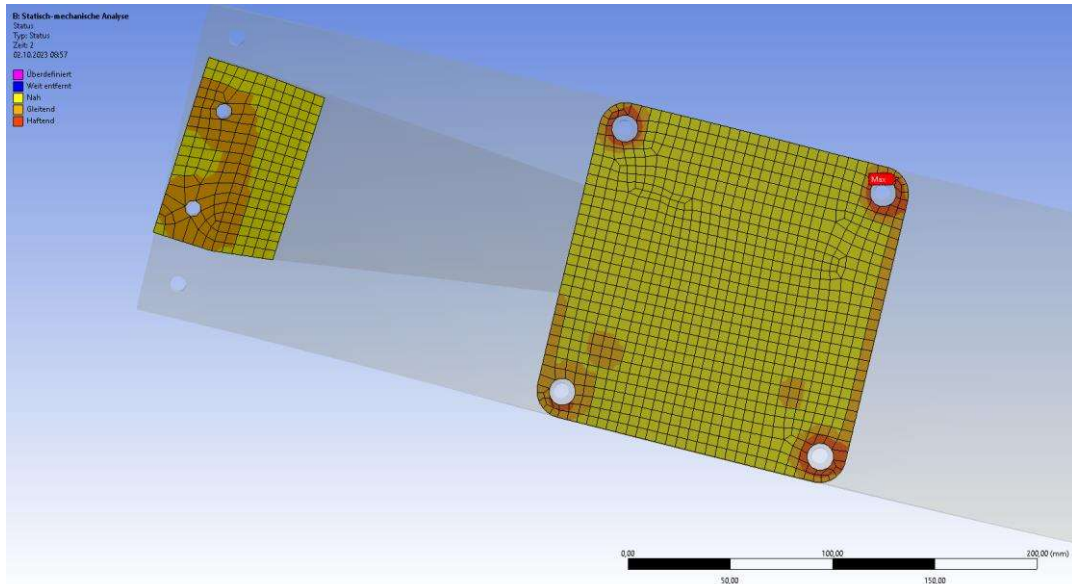


Abbildung 65: Status der Kontaktflächen

Dabei beträgt die maximale Arbeitslast auf die Schrauben 27 kN (siehe Abbildung 66). Das liegt unter der maximalen Vorspannkraft einer M8 Schraube der Festigkeitsklasse 12.9 von 28 kN [54]. Wenn die eingesetzten Buchsen entfernt werden, können größere Schrauben eingesetzt werden, um die Sicherheit zu erhöhen.

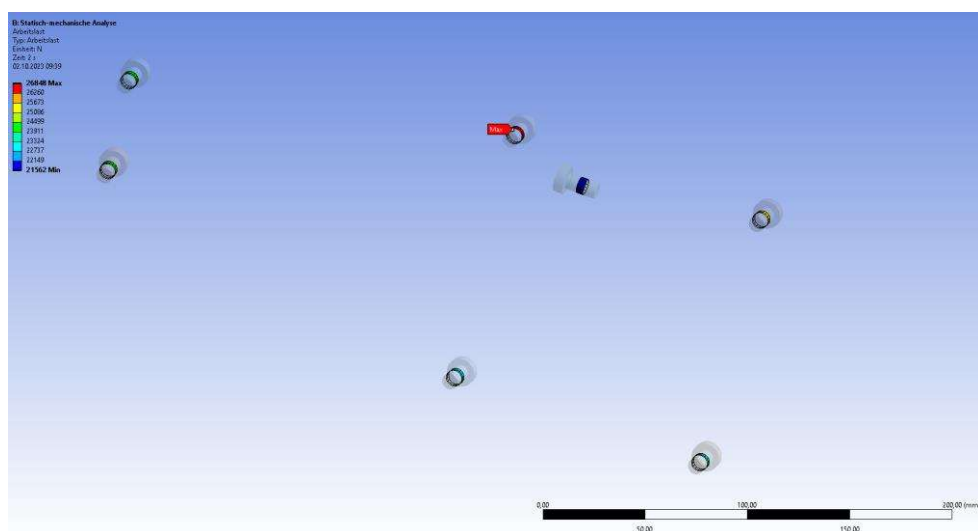


Abbildung 66: Arbeitslasten der Schrauben

4.6 Modalanalyse

In der Simulatorkabine treten Schwingungen im Frequenzbereich von bis zu 8 Hz auf. Um sicherzustellen, dass keine Eigenfrequenzen der Armlehne getroffen werden, die eine hohe Belastung auf die Armlehne bringen, wird eine Modalanalyse durchgeführt. Diese wird in Ansys am gleichen FE-Modell durchgeführt. Es werden die ersten sechs Eigenfrequenzen (siehe Abbildung 67) bestimmt und die erste liegt bei 18,728 Hz und damit weit über den maximalen 8 Hz. Die Eigenfrequenzen der Armlehne können im Simulator nicht erreicht werden.

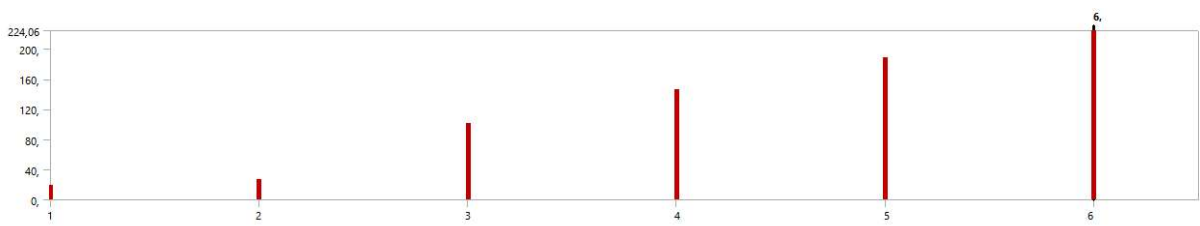


Abbildung 67: Diagramm der Eigenfrequenzen

4.7 Finales CAD-Modell

Aus der Belastungsanalyse wurde die Fußplatte verändert und die Stütze hinzugefügt. Aufgrund der Veränderung der Fußplatte wird eine Erweiterungsplatte so platziert, dass der Fuß auf keiner Kante aufliegt, da das als unangenehm empfunden wird. Im Folgenden wird das finale Modell mit den genannten Veränderungen in den Abbildungen dargestellt. Die Gewindebohrungen werden mit Helicoil Gewinden ausgeführt und sorgen dafür, dass sich die Schrauben auch bei Vibrationen nicht lösen (Anhang 5)



Abbildung 68: Finales CAD-Modell



Abbildung 69: Armlehne in Flugkabine

4.8 Erstellung der Zeichnungen

Es werden von allen Teilen eine technische Zeichnung angefertigt, für die spätere Fertigung in der Werkstatt des DLRs. Bei der Erstellung wurde sich an dem Tabellenbuch Metall [50] orientiert. In Anhang 4 ist die Stückliste, in der Fertigungs- und Kaufteile aufgeführt sind. In Anhang 5 sind die Technischen Zeichnungen aufgeführt.

5 Zusammenfassung, kritische Betrachtung und Ausblick

Die Hauptaufgabe dieser Masterarbeit bestand darin, eine ergonomische Armlehne zu entwickeln, die für geplante Experimente in der Flugkabine des Advanced Virtual Engineering Lab for Aircraft Systems (AVES) am Deutschen Zentrum für Luft- und Raumfahrt (DLR) verwendet werden kann.

Im Verlauf der Arbeit wurde eine umfassende Recherche zum Stand der Technik durchgeführt, ein Gebrauchsszenario erstellt und ein detailliertes Lastenheft ausgearbeitet. Drei verschiedene Konzeptvarianten wurden entwickelt und durch einen Bewertungsprozess wurde das am besten geeignete Vorzugskonzept ausgewählt. Dieses Vorzugskonzept wurde anschließend in einem CAD-Modell umgesetzt und mittels einer Finite-Elemente-Analyse (FE-Analyse) auf seine strukturelle Integrität hin überprüft. Hierbei wurden verschiedene Belastungsszenarien berücksichtigt, sowohl für den Normalbetrieb als auch für den Notfallbetrieb.

Die entwickelte Armlehne erfüllt sämtliche Anforderungen aus dem Lastenheft in vollem Umfang. Sie wiegt insgesamt 19,75 kg und ermöglicht eine seitliche Verschiebung der Armauflage um 30 mm sowie eine gleichzeitige Tiefenverstellung um 60 mm per Knopfdruck. Durch Ziehen am Rastbolzen kann die Höhe der Armauflage um 60 mm angepasst werden. Die Armauflage ist äußerst komfortabel und robust gestaltet, wobei ein Kissen mit Kunstlederbezug verwendet wird und ausreichend Fußraum zur Verfügung steht. Die Armlehne ist flexibel aufgebaut und nutzt Rexrothprofile, die unabhängig von der restlichen Armlehne angebracht sind. Dies ermöglicht die einfache Modifikation und den Anbau weiterer Bauteile. Die beiden Verstellmechanismen sind autonom und ermöglichen einen problemlosen Austausch von Komponenten wie der Fußplatte oder des Controllers durch einfaches Entfernen von Schrauben. Die Armlehne wurde so konzipiert, dass alle Fertigungsteile in der Werkstatt des DLR gefertigt werden können.

Die Stabilität der Armlehne ist außerordentlich hoch, und sie ist in der Lage, sämtliche geforderten Kräfte aufzunehmen. Während des Betriebs bleibt die Armlehne nahezu unbeweglich. Die Eigenfrequenzen der Armlehne liegen über den Frequenzen, die durch den Simulator ert werden, wodurch Resonanzprobleme ausgeschlossen werden können.

Ein potenzieller Verbesserungsvorschlag für die Armlehne wäre die Halbierung der Fußplatte, um den Beinen der Benutzer mehr Freiraum zu bieten, was insbesondere für größere Menschen von Vorteil sein könnte.

Derzeit befinden sich die technischen Zeichnungen in der Werkstatt, und die Beschaffung der erforderlichen Materialien ist im Gange. Die Fertigstellung der Armlehne ist für Ende November dieses Jahres geplant.

Literaturverzeichnis

- [1] DLR - Institut für Flugsystemtechnik - AVES – Air Vehicle Simulator. Verfügbar unter: https://www.dlr.de/ft/desktopdefault.aspx/tabid-1387/1915_read-38610/
(Datum des Zugriffs: 29.09.2023)
- [2] DLR - AVES (Air Vehicle Simulator) in Braunschweig. Verfügbar unter <https://www.dlr.de/de/forschung-und-transfer/forschungsinfrastruktur/grossforschungsanlagen/aves-motion-simulator> (Datum des Zugriffs: 29.09.2023)
- [3] DLR - Passagierkabine für Air Vehicle Simulator Verfügbar unter: https://www.dlr.de/de/aktuelles/nachrichten/2018/4/20181017_passagierkabine-air-vehicle-simulator (Datum des Zugriffs: 29.09.2023)
- [4] Beschreibung der Unterarmstütze Armon Edero Verfügbar unter: <https://www.weissenstein-bs.de/arbeitsplatz-hm/78-armon-edero.html>
(Datum des Zugriffs: 29.09.2023)
- [5] Bild einer Armunterstützung von iFLOAT Verfügbar unter: https://assistive-innovations.com/images/iFLOAT_Office_1_400x240.jpg
(Datum des Zugriffs: 29.09.2023)
- [6] Armon Ayura Betriebsanleitung Verfügbar unter: Ayura-Manual.pdf (armonproducts.com) (Datum des Zugriffs: 29.09.2023)
- [7] Ergorest Unterarmstütze Verfügbar unter: https://www.dpj-workspace.com/at/11457-large_default/ergorest-standard-bewegliche-unterarmstutze.jpg
(Datum des Zugriffs: 29.09.2023)
- [8] 4D-Multifunktionsarmlehne MF309 Verfügbar unter: https://www.metak.de/fileadmin/Kundenbereich/Loesungen/Multifunktionsarmlehne_MF_308.JPG (Datum des Zugriffs: 29.09.2023)
- [9] 2D-Funktionsarmlehne Verfügbar unter: https://www.fm-bueromoebel-moenchengladbach.de/uploads/images/content/small/2d_armlehne.jpeg
(Datum des Zugriffs: 29.09.2023)
- [10] Veikko Multifunktionsarmlehnen Verfügbar unter: <https://wiki.induux.de/Multifunktionsarmlehnen>
(Datum des Zugriffs: 29.09.2023)

-
- [11] kundenspezifische Armlehne Verfügbar unter: https://frei.de/assets/image-cache/template/Medien/Bilder/Produkte/Bedienelemente-fuer-mobile-Maschinen/Armlehnen/Armlehne_kundenspezifisch_2.62f215cc.png
(Datum des Zugriffs: 29.09.2023)
- [12] Multifunktionsarmlehne Verfügbar unter: <https://www.hydrac.com/fileadmin/products/images/PL2599.jpg>
(Datum des Zugriffs: 29.09.2023)
- [13] Masunaga, H. 2013. HEIGHT ADJUSTMENT DEVICE IN FIXTURE, AND ARMREST DEVICE FOR CHAIR PROVIDED WITH HEIGHT ADJUSTMENT DEVICE (EP 2 8845 518 B1). Eropäisches Patentamt
- [14] Dauphin Entwicklungs- u. Beteiligungs-GmbH. 1996. Armlehne für Bürostühle mit zusätzlicher Unterarmstütze (DE 296 11 723 U1). Deutsches Patentamt
- [15] Sollie, M. 2014. A HEIGHT ADJUSTMENT DEVICE FOR AN ARMREST (WO 2914/109647 A1). Word Intellectual Property Organization
- [16] Friedrich, M. 2012. Vorrichtung zur Höhenverstellung und Arretierung von Armlehnen (DE 10 2012 014 731 A1) Deutsches Patent- und Markenamt
- [17] DIN e.V. (Hrsg.) (DIN 68877-1:2020-11, 2020): DIN 68877-1:2020-11, Industrie Arbeitsstuhl – Teil 1: Maße, Bestimmung der Maße, Beuth-Verlag, Berlin, 2020.
- [18] DIN e.V. (Hrsg.) (DIN 68877-2:2016-05, 2016): DIN 68877-2:2016-05, Industrie Arbeitsstuhl – Teil 2: Sicherheitsanforderungen und Prüfverfahren, Beuth-Verlag, Berlin, 2016.
- [19] Feldhusen, J. & Grote, K. H: Pahl/Beitz Konstruktionslehre: Methoden und Anwendung erfolgreicher Produktentwicklung. 8. Aufl. Berlin, Heidelberg: Springer Vieweg, 2013
- [20] Lastenhandhabungsverordnung Verfügbar unter: <https://www.arbeitsrechte.de/lastenhandhabungsverordnung/> (Datum des Zugriffs: 29.09.2023)
- [21] Schienenbolzenrastsystem Verfügbar unter: <https://i.otto.de/i/otto/86658090-4128-404d-aaee-49afb895d557?h=520&w=551&sm=clamp>
(Datum des Zugriffs: 29.09.2023)
- [22] 3D-Gelenkarm Verfügbar unter: https://cdn.hoffmann-group.com/derivatives/15558/jpg_600/jpg_600_b440610_400_anw.jpg
(Datum des Zugriffs: 29.09.2023)

-
- [23] Klappmechanismus Verfügbar unter: https://www.hermanmiller.com/content/dam/hmi-com/page_assets/products/mirra_2_chairs/it_prd_dtl_mirra_2_chairs_01.jpg.rendition.1152.1152.jpg
(Datum des Zugriffs: 29.09.2023)
- [24] Gasdruckzylinder Verfügbar unter: https://m.media-amazon.com/images/I/4115D4pdJYL._AC_SX522_.jpg
- [25] Bewegungsschraube Verfügbar unter: https://en.nanotec.com/fileadmin/_processed_/0/7/csm_SpindelIn_Trapezgewinde_671b168c8a.jpg (Datum des Zugriffs: 29.09.2023)
- [26] Seilzug Verfügbar unter: https://www.drahtseile24.de/media/image/ef/e0/50/Edelstahl_Umlenkrolle_Block_Bild_3_Anwendung_600x600.jpg (Datum des Zugriffs: 29.09.2023)
- [27] Schienensystem Verfügbar unter: <https://www.rollon.com/deu/de/ihre-herausforderung/compact-rail-plus-vielseitige-lineare-fuehrungsschiene/>
(Datum des Zugriffs: 29.09.2023)
- [28] Rollenführung Verfügbar unter: <https://ars.els-cdn.com/content/image/1-s2.0-S0003687007000890-gr8.jpg> (Datum des Zugriffs: 29.09.2023)
- [29] Einrastschiene Verfügbar unter: https://santjohanser.de/media/image/5c/d7/86/173040_Rastschiene_600x600.jpg (Datum des Zugriffs: 29.09.2023)
- [30] Rotes Kreuz Verfügbar unter: https://image.futurezone.at/images/cfs/landscape_1864w_1049h/2658842/x.jpg (Datum des Zugriffs: 29.09.2023)
- [31] Winkelverstellung Verfügbar unter: https://m.media-amazon.com/images/I/41EArKU6OWL._SY445_SX342_QL70_ML2_.jpg
(Datum des Zugriffs: 29.09.2023)
- [32] Elektromotor Verfügbar unter: https://mirror2.mixtronica.com/65122-super-large_default/motor-1-5-3v-300ma-14200rpm.jpg
(Datum des Zugriffs: 29.09.2023)
- [33] Arm Verfügbar unter: https://img.clipartlook.com/arm-20clipart-clip-art-arm-240_298.png (Datum des Zugriffs: 29.09.2023)
- [34] Klickmechanismus Verfügbar unter: https://klickfix.com/fileadmin/_processed_/5/3/csm_GTA_Mood_60a9b7d7ac.jpg (Datum des Zugriffs: 29.09.2023)

-
- [35] Controllerhalterung Verfügbar unter: https://m.media-amazon.com/images/I/41HZ-RJGgGL._SX300_SY300_QL70_ML2_.jpg (Datum des Zugriffs: 29.09.2023)
- [36] Schraubverbindung Verfügbar unter: https://www.befestigungsfuchs.de/blog/wp-content/uploads/2016/06/titelbild_feste_schraubverbindung.jpg (Datum des Zugriffs: 29.09.2023)
- [37] Formschluss Verfügbar unter: https://www.tis-gdv.de/wp-content/uploads/tis/verpack/verpackungshandbuch/bilder_vr/abb_77.gif (Datum des Zugriffs: 29.09.2023)
- [38] Klemmverschluss Verfügbar unter: https://m.media-amazon.com/images/I/71358TRsZ8L._AC_SL1500_.jpg (Datum des Zugriffs: 29.09.2023)
- [39] Airlineschiene Verfügbar unter: https://www.ladungssicherung.eu/media/catalog/product/cache/0e71d1b8a0d5dc57135e12313572b2c3/a/i/airline-schiene_light_520623_1_1.jpg (Datum des Zugriffs: 29.09.2023)
- [40] Steckverbindung Verfügbar unter: https://www.elektrofachmarkt-online.de/images/product_images/original_images/352201.jpg (Datum des Zugriffs: 29.09.2023)
- [41] Bolzenverbindung Verfügbar unter: <https://i.ebayimg.com/images/g/Kr8AAOSwcxpi7BWt/s-l1600.jpg> (Datum des Zugriffs: 29.09.2023)
- [42] Unterarmstütze Verfügbar unter: <https://i.ebayimg.com/images/g/OmQAAOSwD5ZZzhcy/s-l1600.jpg> (Datum des Zugriffs: 29.09.2023)
- [43] Armstützte kantiges Profil Verfügbar unter: https://www.profi-store24.de/media/catalog/product/cache/d04f47bd7c6ffee37651e0567d96ffa8/n/w/nw9000454292-nw9000454292-image-a_9000454292_01_all.jpg (Datum des Zugriffs: 29.09.2023)
- [44] Armlehne rundes Profil Verfügbar unter: https://www.hermanmiller.com/content/dam/hmicom/page_assets/products/mirra_2_chairs/it_prd_dtl_mirra_2_chairs_01.jpg.rendition.1152.1152.jpg (Datum des Zugriffs: 29.09.2023)

-
- [45] Mittellehne mit Stoffbezug Verfügbar unter:
<https://i.ebayimg.com/images/g/jjsAAOSwhfJimpP2/s-l1600.jpg>
(Datum des Zugriffs: 29.09.2023)
- [46] Kissen aus PU Leder Verfügbar unter: https://m.media-amazon.com/images/I/6162l2+Q7QL._AC_SL1001_.jpg
(Datum des Zugriffs: 29.09.2023)
- [47] Feldhusen, J. & Grote, K. H: Dubbel – Taschenbuch für den Maschinenbau. 22. Aufl. Heidelberg: Springer, 2007
- [48] Nutzwertanalyse verfügbar unter:
<https://ide.ovgu.de/Methodenkarten/articles/Nutzwertanalyse.html>
(Datum des Zugriffs: 29.09.2023)
- [49] Bender, B., Gericke, K.: Pahl/Beitz Konstruktionslehre: Methoden und Anwendung erfolgreicher Produktentwicklung. 9. Aufl. Berlin, Heidelberg: Springer Vieweg, 2021
- [50] Gomeringer, R, Stephan, A: Tabellenbuch Metall 49, Aufl. Nourney: Europa-Lehrmittel, 2022
- [51] Reibungskoeffizient PE-UMHD-Stahl Verfügbar unter: <https://www.triboplast.de/reibungswerte-und-verschleiss/>
(Datum des Zugriffs: 29.09.2023)
- [52] Masseverteilung im Körper Verfügbar unter: http://www.arsmartialis.com/index.html?name=http://www.arsmartialis.com/faq/m_anteil.html
(Datum des Zugriffs: 29.09.2023)
- [53] Größe, Gewicht und BMI: Mittelwert bei Männern in Deutschland Verfügbar unter:
<https://de.statista.com/statistik/daten/studie/260920/umfrage/mittelwerte-von-groesse-gewicht-und-bmi-bei-maennern-nach-alter/>
(Datum des Zugriffs: 29.09.2023)
- [54] Vorspannkräfte und Anziehmomente für Metrische Schrauben Verfügbar unter:
<https://www.schrauben-normen.de/anziehmomente.html>
(Datum des Zugriffs: 29.09.2023)

Anhänge

Anhang 1	Jungfalk Fittings	vii
Anhang 2	Datenblatt AVES	viii
Anhang 3	Certification Memorandum	ix
Anhang 4	Stückliste.....	x
Anhang 5	Technische Zeichnungen.....	xi
Anhang 6	Helicoil.....	xii

Anhang 1 Jungfalk Fittings

Panel and Stanchion Fittings



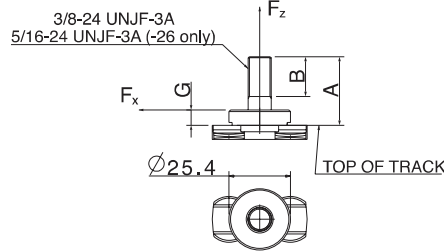
40 191



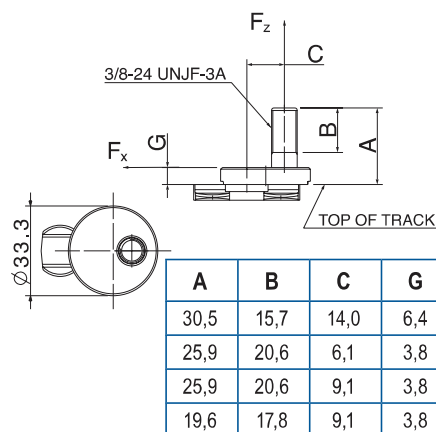
40 191



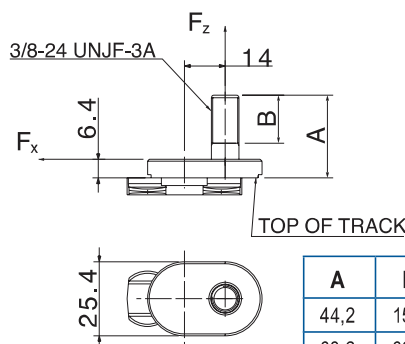
40 191



A	B	G	Dash No.			
23,4	15,7	6,4	-10			57
44,2	15,7	6,4	-11			69
36,6	15,7	6,4	-12			64
30,5	15,7	6,4	-13			61
25,9	20,6	3,8	-15			49
36,6	15,7	3,8	-18			55
44,2	15,7	3,8	-19			60
45,0	43,2	6,4	-20			69
64,0	62,0	6,4	-22			80
44,2	22,4	6,4	-23			69
19,6	9,7	3,8	-25			46
18,8	17,0	3,8	-26			41
55,9	54,1	3,8	-27			66
28,2	16,5	4,3	-28			53
30,5	28,4	3,8	-29			52
23,4	15,7	3,8	-32			48
30,5	15,7	3,8	-33			52
45,0	43,2	3,8	-34			60
64,0	62,0	3,8	-35			71
44,2	22,4	3,8	-36			60
19,3	17,0	3,8	-37			46



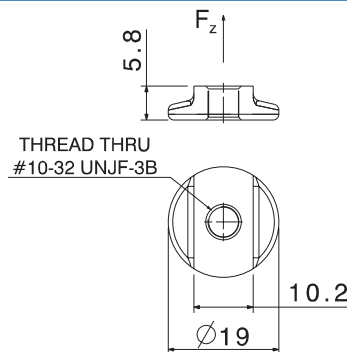
A	B	C	G	Dash No.			
30,5	15,7	14,0	6,4	-14			79
25,9	20,6	6,1	3,8	-16			55
25,9	20,6	9,1	3,8	-17			58
19,6	17,8	9,1	3,8	-21			55



A	B	Dash No.			
44,2	15,7	-24			89
63,2	62,0	-30			100

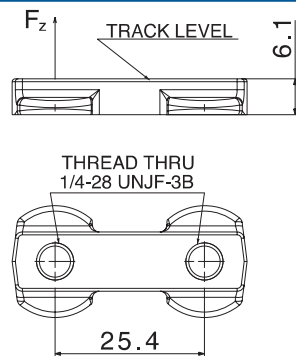
* when installed in heavy duty track according to AS33601 with appropriate fasteners

42 922

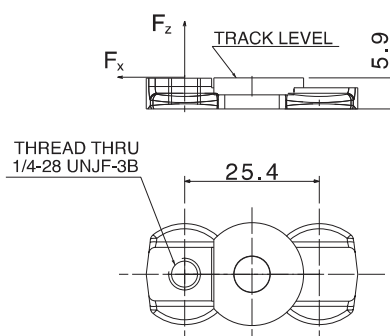


Part No.	Material	Description	Weight (grs)
42 922-10 42 922-11	Alloy steel, heat-treated -10 cad-plate -11 zinc-plated	Flush Fitting, Single Stud Thread 10/32 UNF-3B -10 with Helicoil type insert Ultimate load: Fz 17,78 kN / 4000 lbs*	9
42 615-10	Steel forging 4140, heat-treated and zinc-plated	Flush Fitting, Double Stud Thread 1/4-28 UNF-3B Ultimate load: Fz 17,78 kN / 4000 lbs per thread hole, total 35,55 kN / 8000 lbs*	20
42 182-10	Body Steel forging 4140, Retainer Alloy Steel, heat and zinc-plated	Flush Fitting, Double Stud Thread 1/4-28 UNF-3B Ultimate load: Fx 7,56 kN / 1700 lbs Fy 7,56 kN / 1700 lbs Fz 19,11 kN / 4300 lbs*	22
110413-10 110413-20	Body Steel forging 4140, heat-treated, Retainer Alloy Steel, -10 cad-plate -20 zinc-plated	Flush Fitting, Double Stud with retainer Thread 5/16 UNJF-3B Ultimate load: Fx 19,78 kN / 4450 lbs Fy 19,78 kN / 4450 lbs Fz 20,89 kN / 4700 lbs*	22
110074-10 110074-11	Body Steel forging 4140, heat-treated and zinc-plated, Retainer Aluminium, anodized	Flush Fitting, Double Stud centered thread hole, double retainer Thread -10 1/4-28 UNJF-3B -11 5/16-24 UNJF-3B Ultimate load: Fx 12,70 kN Fy 11,20 kN Fz 18,20 kN*	26

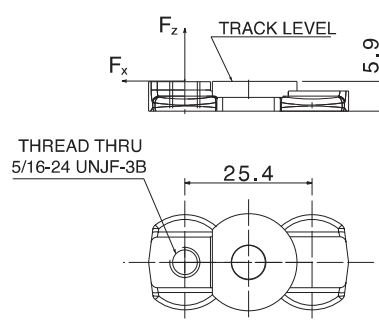
42 615



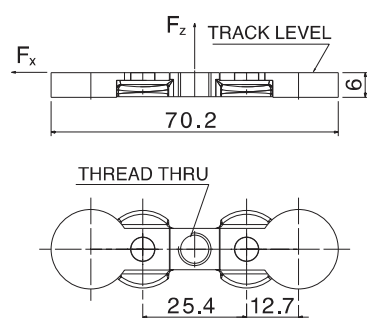
42 182



110413



110074



* when installed in heavy duty track according to AS33601 with appropriate fasteners

Anhang 2 Datenblatt AVES

System Specification

MB-EP-6DOF/60/14000KG



Electric and hydraulic motion bases for a wide range of payload applications

**System Specification
(PSS26798; Issue 2.0; July 2012)**

MOOG

3.4 Motion envelope

3.4.1 Platform excursions - Single DOF

#	Item	Value	Unit	Remark
AA-bbb-cc	Surge (Tx)	+1.40 -1.16	m	
	Sway (Ty)	+1.16 -1.16	m	
	Heave (Tz)	+0.94 -0.94	m	
	Roll (Rx)	+25.0 -25.0	deg	
	Pitch (Ry)	+27.0 -24.0	deg	
	Yaw (Rz)	+29 -29	deg	

3.4.2 Platform excursions - Maximum

#	Item	Value ¹	Unit	Remark
AA-bbb-cc	Surge (Tx)	+1.44 -1.45	m	
	Sway (Ty)	+1.26 -1.26	m	
	Heave (Tz)	+0.95 -0.95	m	
	Roll (Rx)	+27.0 -27.0	deg	
	Pitch (Ry)	+34.0 -31.0	deg	
	Yaw (Rz)	+32.0 -32.0	deg	

1. Allowing dual DOF movements.

3.4.3 Platform velocities

#	Item	Value ¹	Unit	Remark
AA-bbb-cc	Surge (Tx)	± 1.0	m/s	
	Sway (Ty)	± 1.0	m/s	
	Heave (Tz)	± 0.75	m/s	

#	Item	Value ¹	Unit	Remark
	Roll (Rx)	± 21.0	deg/s	
	Pitch (Ry)	± 21.0	deg/s	
	Yaw (Rz)	± 24.0	deg/s	

1. Measured with sine wave (frequency 0.5 Hz)

3.4.4 Platform accelerations

#	Item	Value ¹	Unit	Remark
AA-bbb-cc	Surge (Tx)	± 6.5	m/s ²	
	Sway (Ty)	± 6.5	m/s ²	
	Heave (Tz)	± 9	m/s ²	
	Roll (Rx)	> ± 140	deg/s ²	
	Pitch (Ry)	> ± 140	deg/s ²	
	Yaw (Rz)	> ± 240	deg/s ²	

1. Measured with sine wave (frequency 3 Hz); peak acceleration measured at drive current saturation point

3.4.5 Platform acceleration onsets

#	Item	Value	Unit	Remark
AA-bbb-cc	Surge (Tx)	± 29.4	m/s ³	JAR-FSTD(H) FFS level D
	Sway (Ty)	± 29.4	m/s ³	JAR-FSTD(H) FFS level D
	Heave (Tz)	± 58.8	m/s ³	JAR-FSTD(H) FFS level D
	Roll (Rx)	± 300	deg/s ³	JAR-FSTD(H) FFS level D
	Pitch (Ry)	± 300	deg/s ³	JAR-FSTD(H) FFS level D
	Yaw (Rz)	± 300	deg/s ³	JAR-FSTD(H) FFS level D

3.5 Platform frequency response

3.5.1 Bandwidth

#	Item	Value	Unit	Remark
AA-bbb-cc	Frequency	0.1 to 1.0	Hz	JAR-FSTD(H) FFS level B, C and D
	Phase shift	0 to -20	deg	JAR-FSTD(H) FFS level B, C and D
	Amplitude	± 2	dB	JAR-FSTD(H) FFS level B, C and D
AA-bbb-cc	Frequency	1.1 to 3.0	Hz	JAR-FSTD(H) FFS level B, C and D
	Phase shift	0 to -40	deg	JAR-FSTD(H) FFS level B, C and D
	Amplitude	± 4	dB	JAR-FSTD(H) FFS level B, C and D

3.5.2 Damping (step response)

#	Item	Value	Unit	Remark
AA-bbb-cc	The platform response in each degree of freedom to a block signal input of 5 % of the maximum voltage at 0.2 Hz (without washout) shall show no overshoot.	No overshoot	-	MIL-STD-1558

3.6 Leg balance

#	Item	Value	Unit	Remark
AA-bbb-cc	Phase shift	≤ 1.5	deg	JAR-FSTD(H) FFS level B, C and D
	OR			
	Parasitic acceleration	≤ 0.196	m/s ²	JAR-FSTD(H) FFS level B, C and D
	Parasitic acceleration (rotational)	≤ 3	deg/s	JAR-FSTD(H) FFS level B, C and D

3.7 Motion fidelity

3.7.1 Smoothness - Turnaround bump

#	Item	Value	Unit	Remark
AA-bbb-cc	Turnaround bump	≤ 0.49	m/s ²	JAR-FSTD(H) FFS level B, C and D

3.7.2 Smoothness - Spurious motion (stability)

#	Item	Value	Unit	Remark
AA-bbb-cc	Load acceleration	≤ 0.1471	m/s ²	MIL-STD-1558

3.7.3 Static accuracy

#	Item	Value	Unit	Remark
AA-bbb-cc	Maximum static position error	< 1.0	%	MIL-STD-1558

3.7.4 Crosstalk

#	Item	Value	Unit	Remark
AA-bbb-cc	Cross talk amplitude fixed actuator with relation to amplitude of moving actuator	≤ 2	%	MIL-STD-1558

Anhang 3 Certification Memorandum

3.1. Guidance for concentrated loads

	0 to 150 cm above floor daN	At 200 cm above floor (linear reduction between 150 cm and 200 cm) daN	Concentrated load application area
Pushing	133	44	10 cm x 10 cm
Horizontal Pull 1 hand	66	22	10 cm x 10 cm
Horizontal Pull 2 hands	66 to 133*	44	10 cm x 10 cm
Up	66	22	10 cm x 10 cm
Down	88 to 133*	44	10 cm x 10 cm
Seating or stepping	133 to 222*	N/A (up to 100 cm)	Seat 30 cm x 30 cm Step 10 cm x 20 cm

Table 1: General concentrated loads

*The appropriate value in the range must be selected considering the design of the specific feature. For example, glass panels exposed to a seating or stepping load will have to withstand 222 daN (ref. AMC 25.603(a)).

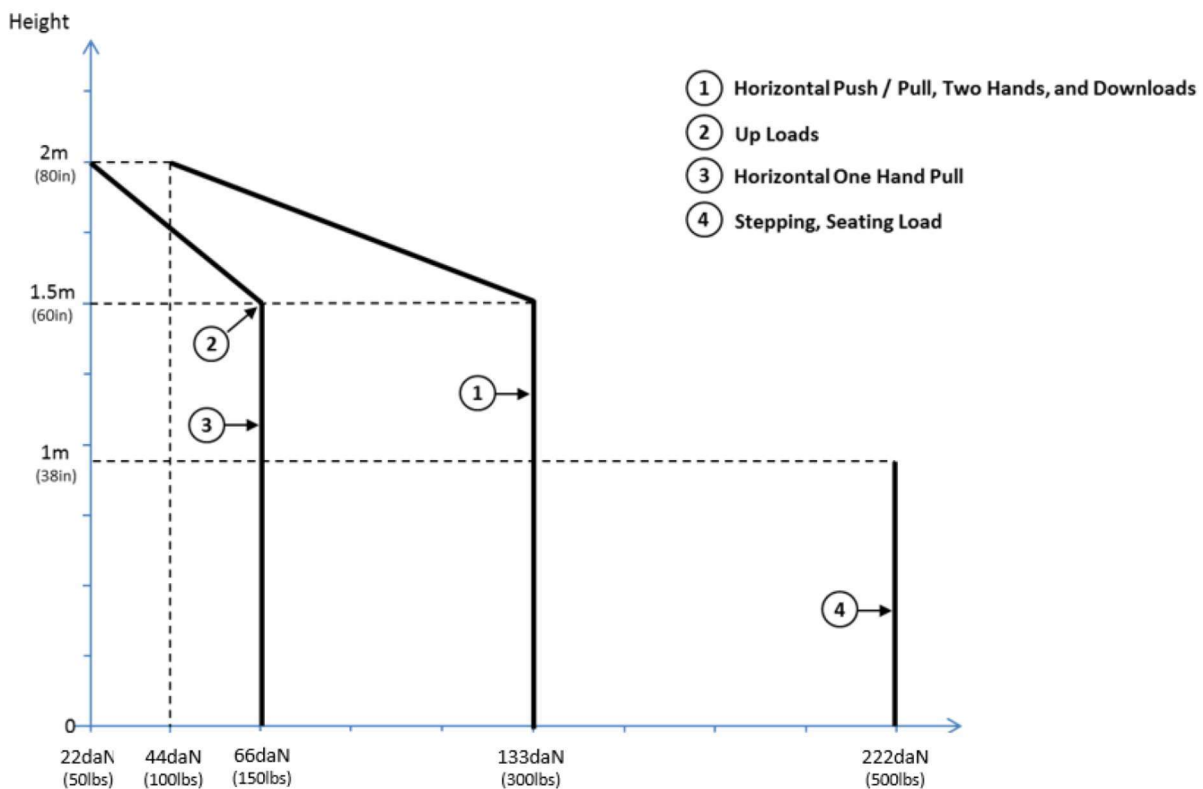


Figure 1: General concentrated loads



Anhang 4 Stückliste

Anhang 5 Technische Zeichnungen

Anhang 6 Helicoil

Konstruktionselement – Gewindeverstärkung und -reparatur

Gewindeverstärkung und -reparatur sind zwei Begriffe, die untrennbar mit HELICOIL® verbunden sind. Gewindeverstärkung überall dort, wo Werkstoffe geringer Scherfestigkeit (z. B. Aluminium, Aluminium-Magnesium-Legierungen und faserverstärkte Kunststoffe) verwendet werden. Der Verschleiß des Muttergewindes ist selbst bei häufiger Benutzung ausgeschlossen. HELICOIL® ermöglicht bei der Entwicklung von Serienbauteilen Miniaturisierung und Leichtbau. Über 60 Jahre praxiserprobt hat sich der HELICOIL® Gewindeeinsatz zu einem anerkannten Konstruktionselement entwickelt.

Unter dem Gesichtspunkt der Gewindereparatur sind sie weltweit für die wirtschaftliche und dauerhafte Instandsetzung von beschädigten oder abgenutzten Gewinden freigegeben.

Neben der Reparatur von wertvollen Einzelkomponenten können auch Großserienbauteile, die durch Fehler bei der Gewindefertigung zu Ausschuss wurden, wieder in den Fertigungsprozess integriert werden.

Technologie

Der HELICOIL® Gewindeeinsatz aus rhombisch profiliertem Draht ist zu einer federnden Wendel geformt. Er sorgt für hochfeste Gewinde, indem die Kräfte von Flanke zu Flanke in das Aufnahmegewinde übertragen werden.

Laufend optimiert ist der Einbau des aktuellen HELICOIL® Plus deutlich einfacher geworden.

Das „Plus“ steht für den besonderen Gewindeanfang gegenüber dem HELICOIL® Classic, welcher den Einbau in ein Aufnahmegewinde erleichtert. Der HELICOIL® Plus ist wie eine Schraube anzusetzen und einzudrehen.

Zum Eindrehen genügt eine Einbauspindel, die in ihren Abmessungen vergleichbar mit einem Gewindebohrer ist.

Es ist ein System von hoher Zuverlässigkeit, für das deutsche und internationale Schutzrechte angemeldet worden sind.

Bestehende Werkzeuge der bisherigen Bauform können ebenfalls weiterhin eingesetzt werden.

Durch den Einsatz der neuen HELICOIL® Plus Gewindeeinsätze und den entsprechenden Werkzeugen verkürzen sich die Einbauzeiten um bis zu 20 % gegenüber bisherigen Verfahren.

Sind Durchgangsgewinde erforderlich, kann der Mitnehmerzapfen nach dem Einbau an der Kerbe (Sollbruchstelle) abgetrennt werden.

HELICOIL® sind nach einheitlichen Material- und Qualitätsvorschriften gefertigte Gewindeeinsätze.

Sie erfüllen die Anforderungen nationaler Normen, Luftfahrtnormen, Military-Standards, sowie werkseigener Normen führender Großanwender.

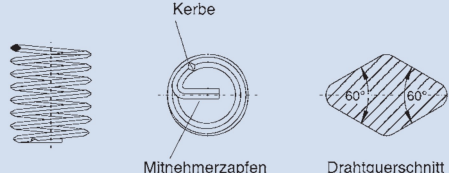


Defektes Gewinde



Repariertes Gewinde





R_m = Zugfestigkeit min. 1400 N/mm² (1 N/mm² entspricht 1 MPa)

HV = Vickers-Härte min. 425 HV 0,2

R_z = Rauhtiefe ca. 2,5 µm

μ_G = Reduzierte Gewindereibung, bewirkt eine Erhöhung der Vorspannkraft F_v bei gleichbleibendem Anziehdrehmoment

τ_t = Verringerung der Torsionsspannung im Schraubenschaft